

Universidad Pública de Navarra

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS

*NEKAZARITZAKINGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

# APLICACIÓN DE MODELOS DE GENERACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA GESTIÓN DEL RIEGO EN LA PROVINCIA DE ÁLAVA

presentado por

MARIO SUESCUN JIMÉNEZ (e)k

*aurkeztua*

INGENIERO AGRÓNOMO  
*NEKAZARITZA INGENIERITZA*

Noviembre 2012

# ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>6</b>
1.1 Introducción.....	7
1.1.1 La relación del agua y la agricultura.....	7
1.1.2 Situación actual en España.....	10
1.1.3 La importancia de la precipitación.....	10
1.1.4 El uso de generadores climáticos.....	11
1.2 Objetivos.....	12
<b>2. Material y métodos.....</b>	<b>13</b>
2.1 Introducción.....	14
2.1.1 Descripción de la zona.....	15
2.1.2 Estaciones meteorológicas.....	19
2.1.3 Tratamiento de las series.....	22
2.2 Revisión de los generadores climáticos.....	23
2.2.1 Introducción.....	23
2.2.2 Modelo WGEN.....	23
2.2.3 Modelo LARS-WG.....	24
2.2.4 Modelo CLIGEN.....	24
2.3 Elección del modelo.....	25
2.3.1 Comparación WGEN vs LARS-WG.....	25
2.4 Descripción del modelo LARS-WG.....	27
2.4.1 Introducción.....	27
2.4.2 Explicación del modelo.....	28

2.5	Aplicación del modelo LARS-WG.....	30
2.5.1	Calibración del modelo: SITE ANALYSIS.....	30
2.5.2	Validación del modelo: QTEST.....	31
2.5.3	Generación series sintéticas: GENERATOR.....	31
<b>3.</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>32</b>
3.1	Parámetros climáticos.....	33
3.1.1	Introducción.....	33
3.1.2	Descripción de los parámetros.....	34
3.1.3	Resultados de las estaciones.....	37
3.1.4	Test de bondad de ajuste.....	38
3.1.5	Mapas de precipitación.....	40
3.2	Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ).....	45
3.2.1	Introducción.....	45
3.2.1.1	Ecuación de Thornthwaite.....	45
3.2.1.2	Ecuación de Blaney-Cridley.....	47
3.2.1.3	Ecuación de Hargreaves-Samani.....	47
3.2.1.4	Elección del método.....	48
3.2.2	Resultados obtenidos.....	49
3.2.2.1	Hargreaves-Samani.....	49
3.2.2.2	Penman–Monteith.....	49
3.2.2.3	Mapas de ET <sub>o</sub> .....	51
3.3	Estimación de las necesidades de riego.....	54
3.3.1	Introducción.....	54
3.3.2	Balance hídrico.....	54
3.3.2.1	Balance hídrico: año extremo.....	59
3.3.3	Mapas de necesidades de riego: año medio.....	61

<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>64</b>
<b>5. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO 1: Análisis estadístico de datos climáticos.....</b>	<b>72</b>
1.1 Completar datos faltantes: análisis de regresión.....	73
1.2 Elección de la estación patrón.....	75
1.3 Análisis de regresión utilizando Excel.....	76
<b>ANEXO 2: Funcionamiento del LARS-WG.....</b>	<b>78</b>
2.1 Site Analysis: Calibración del modelo.....	79
2.2 QTest: Validación del modelo.....	85
2.3 Generator: Generación de datos climáticos sintéticos.....	88
<b>ANEXO 3: Estimación de la radiación solar.....</b>	<b>90</b>
3.1 Radiación solar extraterrestre.....	91
3.2 Radiación solar terrestre.....	92
<b>ANEXO 4: Parámetros climáticos.....</b>	<b>94</b>
4.1 Parámetros de precipitación.....	95
4.2 Parámetros de temperatura.....	101
4.3 Parámetros de radiación solar.....	106
<b>ANEXO 5: Test de bondad de ajuste: Arcaute.....</b>	<b>108</b>

## RESUMEN

En las últimas décadas los estados miembros de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han implantado sistemas de optimización en la gestión de los recursos hídricos en la agricultura. El objetivo principal de estos sistemas es la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos durante su ciclo, para ello el método recomendado por FAO es el de Penman-Monteith, método exigente en el número de variables meteorológicas requeridas. Cuando en una zona no se dispone de estas mediciones, o existen datos pero no de la suficiente longitud como para poder hacer estudios fiables, surge la necesidad de utilizar herramientas que permitan estimar o simular de algún modo la meteorología del lugar.

De este modo, se plantea la necesidad de generar series de variables meteorológicas sintéticas de larga duración en distintos puntos de Álava, con el objetivo de realizar una representación espacial de los parámetros de precipitación generados, para así poder estimar de forma más precisa las necesidades hídricas requeridas por los cultivos en una zona determinada de la provincia. La generación de series se realizará mediante modelos estocásticos que permiten replicar las características del clima o incluso hacer previsiones de distintos escenarios de cambios climáticos.

Se parte de los datos diarios de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación solar, de distintas estaciones meteorológicas de Álava y alrededores. Estos datos se analizarán y completarán mediante correlaciones existentes entre las distintas estaciones, de forma que se obtengan series homogéneas completas. Una vez realizado este proceso correctamente, con los datos obtenidos se aplicará el modelo LARS-WG, que es un generador climático estocástico que se utiliza generalmente para simular datos climáticos en un lugar concreto. El proceso de generación de datos se divide en dos pasos fundamentales: primero el programa realiza un análisis estadístico de las series climáticas que utiliza para calibrarse, y después genera series climáticas sintéticas de la longitud requerida. Finalmente se expondrán los resultados y se realizará una representación espacial con los parámetros climáticos calculados por LARS-WG mediante mapas de Álava en formato ráster.

# 1. ANTECEDENTES

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de poner en práctica un nuevo enfoque para la gestión de los recursos hídricos se ha vuelto cada vez más urgente, como lo demuestra la amplia preocupación que en todo el mundo ha despertado la creciente escasez del agua debido al incremento de la población, el desarrollo industrial, la expansión urbana y la degradación de los acuíferos como resultado de la contaminación proveniente de diversas fuentes. En dicha situación se ve fuertemente involucrada la agricultura, por cuanto es el mayor usuario del agua y se le considera uno de los sectores que más aporta a la contaminación.

Esta situación hace que el gasto de agua en la agricultura, que supone entre el 50 y el 80% del agua dulce disponible, se mire como un «exceso» desde ciertos ámbitos, ignorando que ese consumo se dedica a producir los alimentos que la sociedad urbana necesita consumir y que, por tanto, acaba siendo también una necesidad de la población en general. En este sentido, la economía en el uso del agua en sistemas agrícolas constituye una prioridad fundamental dada su fuerte repercusión en el total de agua utilizada. Sin embargo, la producción agrícola, por exigencias de la economía de mercado, necesita cada vez más asegurar unos rendimientos mínimos para ser una actividad viable, y el riego se hace cada vez más imprescindible para obtener una producción más regular y predecible de los cultivos.

### 1.1.1 LA RELACIÓN DEL AGUA Y LA AGRICULTURA

La referencia a la relación de los recursos hídricos y la agricultura debe enmarcarse en un ámbito más amplio que comprenda el uso del agua por distintos sectores y la competencia que entre ellos se establece por su utilización. En este sentido, resolver los problemas que afectan a los recursos hídricos se vuelve una tarea muy compleja, como lo señalan innumerables estudios dedicados al tema. Ello es así porque el agua debe ser compartida eficiente y equitativamente entre todos los sectores y usuarios que necesitan el recurso para sus propios fines, y además se deben considerar las necesidades del medio ambiente. Sumado a ello, el aprovechamiento del agua por la agricultura, que es uno de los usuarios de más peso, implica la generación de contradicciones (económicas, sociales, técnicas, jurídicas, referentes al medio ambiente, y otras) que obligan también a buscar equilibrios. A ello se agrega que dichas contradicciones y los deseados equilibrios están enmarcados por diversos factores: antropológicos, históricos, sociales, económicos, técnicos, ideológicos, filosóficos, culturales, que obligatoriamente deben ser tomados en cuenta si se aspira al buen manejo del recurso en dicho sector con fines de desarrollo económico y social.

### **a) Los aspectos positivos**

La agricultura es siempre el mayor usuario de todos los recursos hídricos tomados en su conjunto: la lluvia (agua verde) y el agua en los ríos, lagos y acuíferos (agua azul). Dicho sector absorbe alrededor del 70% del consumo mundial, mientras que al uso doméstico se destina 10% y a los usos industriales 20%. La mitad del consumo mundial del agua en la agricultura se pierde por evaporación e infiltración, aunque también se discute que la segunda no es totalmente pérdida

El incremento de los recursos hídricos para la agricultura fue el motor para la revolución verde. En el decenio de 1990, en los países en desarrollo la producción de alimentos aumentó 3,4% anual y sobrepasó el crecimiento de la población, que fue de 1,5%. La FAO considera que desde los años sesenta el sistema alimentario mundial ha duplicado la producción necesaria para alimentar a la población global, proveyendo más alimentos por habitante a precios progresivamente más bajos. Se ha estimado que pese a existir grandes disparidades en el acceso a los alimentos, su disponibilidad por persona en el mundo ha crecido 17,5% y en los países en desarrollo 27,6% en el período 1960-1990 (IFPRI, 1995). En América Latina, los rendimientos de los cereales se elevaron 70% en ese mismo período, desempeño logrado con una combinación de semillas de alto rendimiento, el control de plagas, la nutrición de los cultivos y con el incremento de la irrigación, que hizo posible el uso de estos insumos (CGIAR, 2002a; FAO, 2003b; Huber-Lee y Kemp-Benedict, 2003). En este sentido, se estima que la productividad del agua se ha incrementado 100% en los últimos 40 años (FAO, 2003b). Se calcula que de 1950 a 2001 el área irrigada en el mundo pasó de 110 millones de hectáreas a 280 millones (Banco Mundial, 2003).

En la actualidad, una tercera parte de la cosecha mundial de alimentos y más del 50% de la producción global de granos proviene de la agricultura irrigada, que sólo cuenta con menos del 20% de las tierras cultivadas del mundo (Dinar, 1998). Ciertos efectos de la irrigación de los cultivos también constituyen beneficios indirectos para el medio ambiente, como la recarga de las napas subterráneas, la regulación de las corrientes, el reciclaje de las aguas residuales y la protección contra la erosión del suelo (Redaud, 1998).

Otro beneficio importante de la agricultura de riego es su contribución a la reducción de la pobreza en distintas partes del mundo, sobre todo en los países del Sur y del Sudeste de Asia, donde el riego ha tenido una gran difusión.



## **b) Los aspectos negativos**

Se ha vuelto un lugar común en el análisis de la conexión entre sector agrícola, agua y medio ambiente, la afirmación de que la agricultura intensiva ha sido una de las actividades más contaminantes del agua, aunque no la única. Los problemas ambientales provenientes del uso del agua en la agricultura atañen a la cantidad y calidad del agua, la calidad del suelo, la biodiversidad y el hábitat de las especies, el bienestar rural y el microclima.

Si las tierras irrigadas no se manejan adecuadamente, por ejemplo, descuidando el drenaje, son propensas a desarrollar salinización y anegamientos. Además, los terrenos con pendientes pronunciadas mal manejados son afectados por la erosión, como sucede en amplias regiones de Centroamérica que han sido deforestadas para su conversión a la agricultura. Esto conduce a la reducción de la productividad del suelo, pero también impacta en forma negativa sobre los recursos hídricos.

Se observa que la deforestación de la parte alta de una cuenca repercute en el cambio del caudal de los ríos a lo largo del año, el cual es mayor que antes en el período lluvioso y menor en el período seco; disminuye la recarga a los acuíferos subterráneos, aumenta la sedimentación en los reservorios, lagos, lagunas, riberas de los ríos y canales; el riesgo de inundaciones es mayor y se eleva la contaminación de las aguas por sólidos, elementos químicos y materia orgánica proveniente del suelo erosionado (FAO, 2000a). En Centroamérica, el caso más ilustrativo es el de la cuenca del Río Lempa, cuyos suelos están erosionados en dos terceras partes y sus embalses acusan un fuerte azolvamiento, lo que acarrea serios problemas económicos debido a que de dicha cuenca depende la mayor parte del sistema nacional de agua y de energía eléctrica de El Salvador (Góchez, 1999; Cuéllar y otros, 2001).

Uno de los mayores problemas es el deterioro en la calidad del agua, por cuanto ello reduce la cantidad disponible necesaria (CGIAR, 2002a). Los problemas clave de calidad del agua en los que incide la agricultura incluyen: eutrofización, contaminación con residuos de agroquímicos, turbidez, desoxigenación, acidificación y salinización. Estos fenómenos afectan a las aguas superficiales y subterráneas, así como a los sistemas costeros (Bonnis y Steenblik, 1998).

Por otra parte, el deterioro de la calidad del agua, que se ha incrementado con la competencia al desarrollarse otros sectores usuarios, afecta también a la agricultura y a la población rural. El mismo efecto genera el abandono de las áreas rurales en los programas de inversiones en infraestructura sanitaria y de riego.

### **1.1.2 SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA**

Los recursos hídricos han sido una importante cuestión en España desde tiempos inmemoriales. Ya en el año 89 a.C. hay documentos que indican el enfrentamiento por suministros de agua. La actual política sobre agua está basada en la Directiva Marco del Agua de 2000, el Plan Nacional de Regadíos de 2002 y el Plan Hidrológico Nacional (PHN) de 2005, que es una modificación del PHN de 2001 y que sustituye las transferencias de agua del Ebro con el proyecto AGUA. Este proyecto pretende solucionar la escasez y degradación de los recursos hídricos del sudeste español mediante la construcción de desalinizadoras con una capacidad para producir 600 hm<sup>3</sup> al año. Los cambios a los que España se enfrenta para conseguir una gestión sostenible de este recurso son considerables, tanto en cuestión de cantidad como en calidad.

La extracción y utilización de los recursos hídricos por los sectores económicos se estima que están cerca de los 40.000 hm<sup>3</sup>, de los cuáles casi el 70 % son destinados a usos agrícolas. Las pérdidas en las redes de distribución primaria y secundaria son de 5.500 hm<sup>3</sup>. Por otra parte, el aumento de la presión de las diversas actividades económicas ha creado problemas de escasez de agua y de degradación de su calidad, en su mayoría ligados al agua subterránea. Los problemas más severos se encuentran en la costa del sudeste, con presiones de utilización de agua por parte de la agricultura, urbanismo y turismo. En el interior, los recursos hídricos de superficie están bajo el control de las autoridades de cuenca que los gestionan.

El agua que se utiliza para producción de electricidad y refrigeración retorna a los cursos de agua y puede volverse a utilizar varias veces con sólo un pequeño deterioro en su calidad. Sin embargo, la mayoría del agua se utiliza con fines agrícolas o ganaderos, urbanos o industriales, degrada la calidad de los retornos. Estos usos generan estrés hídrico y problemas de contaminación difusa y puntual en los cursos de agua.

### **1.1.3 LA IMPORTANCIA DE LA PRECIPITACIÓN**

La precipitación es el elemento meteorológico de mayor variabilidad espacial y temporal, de ahí que sea el elemento más importante a la hora de estimar las necesidades de riego en un lugar. Favorece la acumulación de humedad en el suelo desde donde queda disponible para ser utilizada por las plantas. La influencia de la precipitación, abarca tanto la época de plantación y cosecha como así también las labores culturales, almacenamiento y transporte de la producción.

Registros de precipitación en base mensual pueden ser útiles con fines de planificación, mientras que para aplicaciones o actividades operativas puedan

necesitarse datos diarios y horarios, además las series de datos diarios de precipitaciones muchas veces son incompletas o no son de rápido acceso. Debido a esto, surge la necesidad de generar datos diarios para cubrir estos requerimientos, sin embargo, ello requiere hacer un análisis para comprobar que los datos diarios generados reproducen las características climáticas del lugar. La evapotranspiración potencial y la precipitación son elementos climáticos independientes; con el conocimiento de estos elementos, se puede establecer el balance hídrico, que nos dará una aproximación de las disponibilidades de agua en un lugar o región.

#### **1.1.4 EL USO DE GENERADORES CLIMÁTICOS**

Las interacciones entre los cultivos agrícolas y las condiciones climáticas generalmente son complejas y no lineales, por lo que algunos métodos estadísticos simples generalmente no describen adecuadamente los efectos de la variabilidad climática sobre el riesgo para la producción agrícola.

Los modelos biofísicos que simulan el crecimiento y rendimiento de cultivos de importancia económica son herramientas alternativas para estimar los impactos del clima sobre los sistemas agrícolas y para evaluar los resultados de un amplio espectro de decisiones de manejo (Boote et al. 1996). Estos modelos típicamente requieren datos climáticos diarios. Aunque se pueden utilizar datos climáticos históricos como entrada para estos modelos, generalmente es difícil y costoso disponer de series históricas largas a resolución diaria.

Otra limitación fundamental del uso de series históricas es que proporcionan resultados para una única realización de los procesos climáticos. Una evaluación rigurosa del riesgo climático, por el contrario, requiere la exploración del rango de resultados del proceso de interés (por ej. rendimientos de un cultivo) en respuesta a un rango amplio de series climáticas igualmente probables que la realización histórica, y con propiedades estadísticas similares (Richardson 1981). Una posible solución es el uso de generadores estocásticos de clima que producen series diarias de variables climáticas con propiedades estadísticas similares a aquellas de la serie histórica.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo general del presente Trabajo Final de Carrera es realizar una representación espacial de los parámetros relacionados con la precipitación y la evapotranspiración de referencia en la provincia de Álava. Para ello será necesario generar series sintéticas homogéneas mediante un generador climático en todos los puntos donde disponemos de datos meteorológicos y, a partir de estas series homogéneas, determinar los parámetros necesarios para realizar los cálculos.

Como objetivos específicos que se plantean en este trabajo se consideran los siguientes:

1. Analizar el funcionamiento de los generadores climáticos: determinar si es una herramienta válida para obtener los valores de los parámetros y comprobar que los resultados que ofrece son fiables.
2. Realizar una aproximación de una programación de riegos y dar una estimación de cuáles pueden ser las necesidades de hídricas de los cultivos en Álava.

Junto a estos objetivos, y común a todos ellos, se encuentra un concepto cada vez más sonado e importante, y que es también uno de los propósitos que se persigue: la eficiencia en el uso del agua. Aunque no es un propósito *per se* de este trabajo, es el objetivo último que se desea conseguir, ya que los resultados que se presenten pueden servir en un futuro para el dimensionamiento de obras hidráulicas (acequias, balsas...), estimaciones en las necesidades de riego, gestión del mismo... Se trata pues de un objetivo que, aunque no se propone en sí mismo en este estudio, podemos valernos de él para realizar proyectos u otro tipo de trabajos que estén relacionados con el agua.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

---

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La gestión de riesgos asociados al clima, requiere del análisis de observaciones históricas de distintos índices climáticos a escala diaria. En ciertas ocasiones las series disponibles de datos observados están incompletas o son demasiado cortas. Mediante el empleo de modelos estocásticos es posible generar series temporales que reproduzcan las características del clima actual y con ellas, realizar análisis de riesgo más precisos. Dichos modelos, denominados “generadores de tiempo” o “generadores climáticos”, estocásticos son utilizados en una gran cantidad de aplicaciones tales como: modelos de crecimiento de plantas, modelo de procesos hidrológicos y caudal de ríos, predicción del impacto del cambio climático, etc.

Un generador climático estocástico es un modelo numérico que produce series sintéticas de tiempo diarias de unas determinados variables climáticas, como precipitación acumulada, temperatura y radiación solar. El uso de generadores climáticos en la actualidad es muy amplio en investigaciones con distintas finalidades, de forma que se han convertido en un componente importante de decisión en campos como la agricultura, la hidrología y la gestión medio ambiental.

Hay razones importantes para desarrollar estos generadores climáticos y usar las series sintéticas producidas en vez de los datos climáticos reales, puesto que tienen una serie de aplicaciones en diversos campos. La primera aplicación es que realizan previsiones de series de datos climáticos con suficiente precisión para que puedan emplearse en evaluaciones de riesgos relacionados con las precipitaciones en la agricultura, ya que se puede calcular la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos en una zona determinada. Otra aplicación que tienen es que son capaces de proveer series climáticas sintéticas en lugares donde no se disponen de datos meteorológicos, esto puede realizarse interpolando los parámetros que utiliza el generador climático entre dos localizaciones mediante el método de interpolación *kriging* (Hutchinson 1995). El tercer campo de aplicación está basado en estudios de cambio climático, ya que, la aparición de los Modelos Globales de Clima (GCMs), los cuáles son las principales herramientas de predicción de la evolución del clima en la tierra no pueden ser usados directamente *in situ* porque tienen una resolución espacial muy alta para ello. Un generador climático es una herramienta barata para reproducir, en lugares específicos, escenarios de cambio climático a tiempo real.

En este trabajo se van a generar series climáticas sintéticas en diferentes puntos de la provincia de Álava con el objetivo de conseguir series homogéneas para poder comparar sus parámetros de manera más precisa. Para ello se deberán tomar tantas estaciones como sea posible, o al menos una en cada zona climática particular de Álava. A continuación se va a realizar una descripción de la división geográfica que se ha hecho de Álava.

### 2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La generación de series sintéticas se va a realizar con datos meteorológicos de la provincia de Álava y alrededores, por lo que convendría realizar una descripción del medio físico y socioeconómico de este territorio. De esta forma, tal como se indica en la figura 1, se divide Álava en 6 comarcas (también denominadas cuadrillas) que corresponden a 6 zonas geográficas diferentes, que son:

- ❖ Cantábrica Alavesa
- ❖ Estribaciones del Gorbea
- ❖ Llanada Alavesa
- ❖ Valles Alaveses
- ❖ Montaña Alavesa
- ❖ Rioja Alavesa



Figura 1.- División geográfica de Álava

A continuación se va a realizar una descripción de los aspectos más relevantes de cada comarca con el fin de conocer las características de cada una de ellas.

## **Comarca Cantábrica Alavesa**

La Comarca Cantábrica Alavesa, que se corresponde administrativamente con la Cuadrilla de Ayala-Aiara, está situada en el noroeste de la provincia representando un 11% de su territorio. Se localiza en el área sur-occidental de la CAV, limitando con la provincia de Burgos al oeste y al sur, con las Áreas Funcionales de Álava Central e Igorre (Bizkaia) al este, y con Bilbao y la comarca bizkaina de Enkarterri al norte.

El territorio se caracteriza por un relieve complejo, en el que los cursos fluviales (Nervión, Altube, Izalde,...) constituyen vías naturales orientadas hacia el norte mientras que las alineaciones montañosas que discurren predominantemente en sentido noroeste-sudeste han evitado procesos de ocupación indiscriminada del territorio, preservando los espacios naturales y los paisajes rurales íntimamente ligados al mantenimiento del sector primario en esta comarca. Esta orografía explica que la conexión interna entre los diferentes valles resulte muy difícil, excepto a través de las depresiones que en sentido este-oeste comunican los diferentes ámbitos con el eje central definido por el valle del alto Nervión, verdadera columna vertebral del territorio que hasta la fecha ha constituido el área principal de comunicaciones y asentamientos.

Es necesario diferenciar dos zonas dentro de la comarca Cantábrica Alavesa debido a que los municipios que la conforman poseen características morfológicas y estructurales diferentes. Por un lado, Amurrio y Laudio conforman la zona urbana e industrial, y por otro, Ayala-Aiara, Artziniega y Okondo constituyen la zona rural de la comarca. Antiguamente, en Amurrio y Laudio la actividad principal era la agricultura, sin embargo, debido al proceso de industrialización tanto la agricultura como la ganadería fueron perdiendo peso en estos municipios, conservándose únicamente en la zona rural.

## **Estribaciones del Gorbea**

También denominada Cuadrilla de Zuia, limita al norte con las provincias de Bizkaia y Gipuzkoa, al sur con Vitoria y la Comarca de los Valles Alaveses, al este con Gipuzkoa y la Llanada Alavesa, y al oeste con la Cuadrilla de Ayala. Su particular orografía divide la comarca en dos zonas geográficas diferentes en lo que respecta al medio socioeconómico de la zona. Por un lado, el norte de la comarca está ocupado por el área natural de las Estribaciones del Gorbea-Valle de Aramaio, integrada por los municipios de Aramaio, Legutio, Urkabustaiz, Zigoitia y Zuia, dejando al sur la zona de la Llanada Alavesa a la que se asoma a través del municipio de Arazua-Ubarrundia.

En este contexto, el sector agrario es la actividad económica por excelencia de esta comarca. En la zona del Gorbea destaca la ganadería, y muy especialmente el sector ovino lechero, siendo también importantes el ganado vacuno de leche, el vacuno de carne y el caballo. Mientras que en los municipios que se adentran en la Llanada



Alavesa se desarrolla principalmente la agricultura. La topografía llana, y las condiciones climáticas, han favorecido el cultivo de cereal, patata y remolacha. En el resto de los municipios, la agricultura se limita al cultivo y cuidado de las praderas para la alimentación del ganado.

### **Llanada Alavesa**

Corresponde a la Cuadrilla de Salvatierra, está constituida por más de 60 aldeas de pequeño tamaño (unas decenas de habitantes), las cuáles se agrupan formando los 8 municipios de la comarca (dejando aparte Vitoria y alrededores). Limita con la Cuadrilla de Zuia y Guipúzcoa al norte, Treviño y Montaña Alavesa al sur, Navarra al este y con los Valles Alaveses al oeste

La agricultura sigue siendo la actividad fundamental de los pueblos de la llanada, localizada en su mayoría en esta zona de Álava. Se trata pues de una comarca de fuerte carácter agrario en la que predominan cereales, patata y remolacha. Las altas precipitaciones (800-900 mm anuales) hacen innecesario el riego artificial, pero el déficit térmico impone cierta limitación en la gama de cultivos, frenando la penetración del olivar y de los viñedos, que quedan acantonados en la Rioja alavesa

### **Valles Alaveses**

Ocupa el oeste y sudoeste de la provincia, recibe el nombre de Cuadrilla de Añana y está formado por numerosos valles de ríos que desembocan en el Ebro. Limita con al sur y al oeste con Burgos, al norte con la Cuadrilla de Zuia y al oeste con la Llanada y Treviño.

En esta comarca se descubren dos zonas paisajísticas bien diferenciadas. Por un lado, los Valles Occidentales y, por otro, la Llanada a la que nos asomamos a través del municipio de Iruña de Oca. En cuanto al clima, recibe la influencia del Cantábrico por el norte y el Mediterráneo por el sur, lo que podría definirse como Cantábrico de interior. La orografía es asimismo singular, ya que está configurada por diferentes valles independientes entre sí.

La economía de la zona es agrícola pero las buenas comunicaciones y su cercanía con ciudades como Vitoria-Gasteiz y Miranda de Ebro, han generado un potente sector industrial que ha desplazado a la agricultura a un segundo plano.

### **Montaña Alavesa**

Conocida con el sobrenombre de Cuadrilla de Campezo está situada al sudeste de la provincia de Álava, en la zona más suroccidental de la provincia. Limita con al oeste

con Navarra, al este con el Condado de Treviño (Burgos); y dentro de la provincia con la Rioja Alavesa por el sur y la Llanada por el norte.

Esta comarca está compuesta por grandes montañas que esconden pequeños valles en donde se ubican las localidades. Es en estos valles donde se práctica una agricultura basada principalmente en el cultivo del cereal, y una ganadería ovina en su mayoría en las zonas altas de los mismos.

## **Rioja Alavesa**

Se le conoce también como Cuadrilla de Laguardia limita al sur y al oeste con La Riorja, al este con Navarra y al norte con la Cuadrilla de Campezo. Dos claros accidentes geográficos marcan sus límites norte y sur. Está delimitada al norte por la muralla de la Sierra de Cantabria y la Sierra de Toloño, que la separan del resto de Álava y al sur por el río Ebro, que la separa de la vecina comunidad autónoma de La Rioja.

La Sierra de Cantabria forma una barrera natural que impide la penetración de la influencia que el Cantábrico ejerce sobre las provincias vascas, y protege la zona de los fríos y húmedos vientos del norte y noroeste. De esta manera, este territorio goza de un clima que nada tiene que ver con el del resto de la provincia de Alava y, por supuesto, tampoco con las demás zonas del País Vasco, pudiendo ser definido como clima de transición hacia la meseta.

Registra unas oscilaciones térmicas muy acusadas a consecuencia de la altitud y de su proximidad a la sierra. Se caracteriza por tener unos inviernos crudos, en los que el termómetro puede bajar hasta los 10°C bajo cero, y unos veranos calurosos, en los que se pueden registrar temperaturas de más de 30°C. Los otoños y las primaveras son suaves y agradables. La pluviometría media se sitúa entre los 450 y los 600 mm., integrándose así en el denominado sector seco-cálido.

La vid es el cultivo por excelencia de esta comarca, ya que es una planta perfectamente adaptable a las condiciones del suelo y clima de la zona. Unas variaciones bruscas de temperatura, lluvias no demasiado abundantes, un suelo arcillo-calcáreo y una orientación hacia el sur 'carasol', dan como resultado un vino de gran calidad que está amparado por la denominación de origen más antigua de España.

### 2.1.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para generar series climáticas sintéticas es necesario contar con mediciones de datos diarios de estaciones meteorológicas de la zona. Éstas pueden ser estaciones pluviométricas, termopluviométricas o estaciones meteorológicas automáticas; las dos primeras son manuales, la segunda toma las temperaturas extremas de cada día mediante un termómetro de máximas y otro de mínimas, además ambas registran la cantidad de precipitación diaria. Mientras que las automáticas tienen todos sus registros automatizados y, aparte de los componentes de temperatura y precipitación miden otros como humedad, radiación, presión, viento...

En la provincia Álava y alrededores hay una serie de estaciones de las que disponemos de datos, y que vamos a utilizar posteriormente para generar series sintéticas homogéneas de 100 años de longitud. Las que nos interesan son aquellas que disponen de series de al menos 30 años, que coinciden con las estaciones pluviométricas y termopluviométricas manuales. Las primeras disponen series datos diarios de precipitación, mientras que las segundas incluyen también datos temperatura máxima y mínima diaria. A partir del año 2003 se han instalado estaciones meteorológicas automáticas por toda la geografía del País Vasco que sólo se van a tener en cuenta en el caso de que se realicen análisis de regresión, ya a que estas series son cortas y los datos que ofrecen no son suficientemente representativos de la climatología del lugar. Además de las estaciones situadas en Álava, por su proximidad a la provincia y por la calidad de datos que ofrecen (series largas y completas), se van a tomar para este trabajo la estación burgalesa de Miranda de Ebro, en Vizcaya la de Balmaseda y las navarras de Alsasua y Viana.

El siguiente paso a realizar sería definir las estaciones que se van a utilizar para la generación de series sintéticas. Para ello primero tenemos que recopilar los datos diarios de temperatura máxima y mínima y precipitación de aquellas estaciones cuya longitud de las series sea de al menos 30 años. En cuanto a los datos de radiación se recogerán de estaciones meteorológicas automáticas próximas (aunque su longitud sea menor, ya que su instalación es reciente), o bien se estimarán a partir de la radiación extraterrestre.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, por un lado contaremos con series climáticas completas ( $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$ , precipitación y radiación solar medida o estimada) provenientes de estaciones termopluviométricas y automáticas, por otro lado tendremos series de precipitación diaria registradas en estaciones pluviométricas, y finalmente también contaremos con estaciones automáticas. Las primeras nos servirán para calcular la ETo mensual en cada zona, las segundas las utilizaremos para hallar los parámetros relacionados con la precipitación y las terceras, o bien para tomar las mediciones de radiación solar como en el caso de Viana y Alsasua, o también para realizar los análisis de regresión entre estaciones cercanas y completar las series. Dicho esto, se puede decir que contamos con tres tipos de estaciones, que son las siguientes:

### a) Estaciones termopluviométricas manuales

Las estaciones termopluviométricas manuales que disponen de series climáticas y que utilizaremos para generar las series sintéticas y posteriormente calcular la ETo son las siguientes:

Estación	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (Z)	Año de instalación	nº de años
Amurrio	499502	4766607	219	1970	38
Arcaute	530663	4744558	515	1955	53
Campezo	555732	4724526	578	1980	31
Alsasua	569290	4749564	522	1980	88
Viana	552004	4706797	436	1980	31
Miranda de Ebro	504358	4726641	458	1976	36

#### **Amurrio**

Están disponibles datos diarios de T<sub>máx</sub>, T<sub>mín</sub> y precipitación desde 1970 hasta 2008, un total de 39 años. En cuanto a la radiación solar no existen mediciones en esta localidad ni en proximidades, por lo que se tendrán que estimar las series mediante la formulación desarrollada en el anexo 3.

#### **Arcaute**

Disponibles series completas desde 1955 hasta 2008 (53 años). La serie de radiación solar es estimada, no existen mediciones.

#### **Campezo**

Se disponen de series desde 1980 hasta el año 2010, la radiación solar también deberá ser estimada mediante la metodología mencionada.

#### **Alsasua**

Datos diarios de T<sub>máx</sub>, T<sub>mín</sub> y precipitación desde hace 32 años (1980-2011). Además existen mediciones de radiación solar de los últimos 20 años (1992-2011).

#### **Viana**

Mediciones diarias durante el periodo 1985-2011 (27 años). También existen datos de radiación solar desde el año 2005.

#### **Miranda de Ebro**

Hay disponibles datos meteorológicos diarios desde 1976 hasta 2010, un total de 35 años. La radiación solar ha de ser estimada a partir de la extraterrestre puesto que no se dispone de mediciones de esta variable.

### b) Estaciones pluviométricas manuales

Estación	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (Z)	Año de instalación	nº de años
Salinas de Ana	500977	4738907	566	1960	40
Murguía	513957	4756103	618	1965	30
Sendadiano	507395	4748627	604	1965	35
Opacua	552382	4741882	674	1965	35
Arriola	549566	4751332	638	1965	35
Ullivarri-Gamboa	531849	4753170	570	1960	40
Albina	530186	4760134	600	1965	35
Gamiz	531179	4740828	575	1965	35
Peñacerrada	523433	4721395	744	1960	40
Lagran	533987	4719341	756	1960	40
Zambrana	509858	4723274	459	1965	45
Balmaseda	4484609	4783438	320	1974	35

Todas las estaciones pluviométricas cuentan con datos diarios de precipitación desde la fecha de su instalación hasta el año 2000, excepto Zambrana y Balmaseda (hasta el 2009).

### c) Estaciones automáticas completas

Estación	Longitud (X)	Latitud (Y)	Altitud (Z)	Año de instalación	nº de años
Treviño	524451	4729542	578	2009	3
Salvatierra	549518	4745236	58*9	2009	3
Laguardia	532903	4712079	577	2009	3
Zambrana	509858	4723274	459	2009	3
Alsasua	569290	4749564	522	1995	16
Viana	552004	4706797	436	2002	9

Excepto las navarras (Alsasua y Viana), todas las estaciones automáticas se han instalado a partir del año 2009, por lo que solo contamos con 3 años de datos observados. Estas estaciones han servido para realizar análisis de regresión con estaciones cercanas y alargar de esta manera las series. En el caso de Alsasua y Viana se han utilizado para completar las series con los datos de radiación solar medidos.

A continuación se muestra un mapa con la ubicación geográfica de todas las estaciones meteorológicas. Las del icono azul corresponden a las estaciones que contienen todos los datos (Tmáx, Tmín, radiación y precipitación), las rojas son las estaciones pluviométricas y las amarillas las automáticas completadas mediante regresión que no incluyen datos de precipitación.



### 2.1.3 TRATAMIENTO DE LAS SERIES

Los datos meteorológicos recogidos no están dispuestos de manera que puedan ser introducidos directamente en el generador climático, sino que deben ser tratados convenientemente. Para ello, se han realizado una serie de procedimientos con el objetivo de preparar las series de manera que puedan ser procesadas por LARS-WG. Los pasos seguidos para organizar los datos meteorológicos son los siguientes:

- 1) Ordenar, depurar y analizar, las series de precipitación y temperatura máxima y mínima diaria disponibles. Al recogerse los datos de estas variables meteorológicas de forma manual existen días o periodos más largos en los que no se realizaron las mediciones diariamente. El objetivo sería localizar esos días o periodos y también posibles fallos para no tenerlos en cuenta a la hora de introducir las series en el generador climático.
- 2) Seleccionar las estaciones que dispongan de series de suficiente longitud en la provincia de Álava y proximidades (Guipúzcoa, Vizcaya, Navarra, Burgos, La Rioja). Además se deberán definir los periodos de implementación de cada una de las estaciones elegidas.
- 3) Estimar el valor de radiación solar terrestre a partir de la cantidad de radiación extraterrestre que llega a la superficie exterior de la atmósfera en el lugar donde se encuentra la estación.
- 4) Introducir los datos en el generador climático con el formato adecuado y depurados.



## 2.2 REVISIÓN DE LOS GENERADORES CLIMÁTICOS

### 2.2.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente se requieren datos climáticos diarios para algunas aplicaciones, como pueden ser el diseño de estructuras hidráulicas, estudios de hidrología de cuencas, determinación de la ETP diría de un cultivo, caracterización del movimiento de contaminantes en el suelo o la simulación de modelos de cultivos basados en el clima. Además muchas de estas aplicaciones requieren de largos períodos de información para explicar la variabilidad del ambiente. En muchas áreas agrícolas, esos datos están incompletos o no están disponibles de una manera sencilla. Los registros pueden ser de duración insuficiente, o sólo pueden existir resúmenes mensuales. Por eso es deseable generar datos climáticos diarios para satisfacer tales necesidades. Los datos climáticos generados deben tener características estadísticas similares a los datos climáticos reales para un área geográfica determinada.

En las últimas décadas se han propuesto varios modelos para reproducir de manera estocástica datos climáticos para períodos más largos, estos modelos están basados en técnicas de generación de datos.

En la actualidad existe una gran variedad de generadores climáticos. Desde que en el año 1981 Richardson desarrollara el modelo WGEN, han surgido posteriormente una gran variedad de generadores climáticos entre los que destacan CLIGEN, LARS-WG, CLIMGEN (versión modificada de WGEN) o SIMMETEO. No todos estos generadores han sido testados en todo el mundo, y por lo tanto puede ocurrir que al trabajar con ellos en nuestra zona no den resultados del todo fiables. Por lo tanto antes de elegir un modelo u otro será conveniente hacer un estudio de las características y la utilización de cada generador con el objetivo de seleccionar el que mejor se adecue al trabajo que queremos realizar. En relación con la bibliografía disponible y con la repercusión mundial que ha tenido cada uno de los generadores climáticos destacan WGEN, LARS-WG y CLIGEN. Las características más importantes de estos 3 modelos se exponen a continuación

### 2.2.2 Modelo WGEN

Las publicaciones disponibles del modelo WGEN vienen descritas en Richardson & Wright (1984). Estos escritos están basados en el modelo presentado por Richardson en 1981, el cual genera valores diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima, y radiación solar de un determinado número de años en una localización dada. La temperatura máxima y la radiación son generadas dependiendo de si el día es seco o lluvioso. El componente de precipitación del WGEN está definido por el modelo de distribución de cadenas de Markov, que afirma que, la probabilidad de lluvia de un día

dado está condicionada por la meteorología del día anterior. Tanto temperatura máxima como radiación solar diarias son estimadas mediante distribuciones normales parametrizadas de forma independiente de si el día es seco o lluvioso. En el caso de la temperatura mínima, la forma de generarla es similar pero de forma independiente a la ocurrencia de lluvias. WGEN requiere registros de datos climáticos con una duración de 30 años o más para estimar sus parámetros, limitando su utilización a regiones del mundo donde se cuenta con datos suficientes. No se pueden usar resúmenes mensuales de datos climáticos para generar información diaria

En un esfuerzo para resolver algunos de los problemas Gaylon S. Campbell (Universidad de Washington, 1990) desarrolló una versión modificada de WGEN, llamada CLIMGEN. ClimGen genera datos de temperatura máxima, mínima y de precipitación a partir de observaciones diarias o de resúmenes mensuales.

### **2.2.3 Modelo LARS-WG**

Es un modelo basado en un generador de series climáticas descrito en Rackso et al. (1991) y en Semenov & Barrow (1997) que utiliza distribuciones semi-empíricas para predecir la duración de los eventos lluviosos y secos, la precipitación y la radiación solar diarias. La simulación de la ocurrencia de precipitación es modelada como la alternancia de series secas y húmedas, donde un día húmedo se define como aquel cuya precipitación es mayor que 0 mm. La duración de cada evento es elegida de forma aleatoria por la distribución semi-empírica para el mes en el que comienza el evento. Para un día húmedo, el valor de la precipitación se genera por una distribución semi-empírica para el mes en cuestión, independientemente de la duración de la serie húmeda o de la cantidad de precipitación caída el día anterior.

Las temperaturas máximas y mínimas diarias son consideradas como procesos estocásticos condicionados por el estatus de día húmedo o seco. La técnica utilizada para simular este proceso es muy similar a la presentada en Rackso et al (1991). La distribución de la radiación solar también varía significativamente si el día es lluvioso o no y es modelada independientemente de los valores de temperatura, para los días en que no se disponen datos de radiación solar, LARS-WG convierte las horas de sol en radiación solar usando relaciones de regresión (método descrito en Rietveld 1978).

### **2.2.4 Modelo CLIGEN**

Es un generador climático estocástico que origina estimaciones diarias de precipitación, temperatura, punto de rocío, viento y radiación solar para una determinada zona geográfica, usando parámetros mensuales derivados de mediciones históricas. En contraposición a otros modelos, Cligen genera estimaciones de



parámetros de eventos de lluvia individuales como duración e intensidad máxima de precipitación, los cuales son requeridos, por ejemplo en modelos de erosión del suelo.

Al igual que los modelos de simulación diaria, como WGEN y LARS-WG, CLIGEN reproduce con una precisión aceptable los parámetros de forma individual. Sin embargo, si tenemos en cuenta la interacción de los distintos parámetros diarios CLIGEN no es el modelo más apropiado ya que, para un día dado, genera datos de radiación y temperaturas máxima y mínima de forma independiente a la precipitación. La experiencia y el sentido común nos dicen que estas variables meteorológicas no son independientes, por lo que en la práctica no se puede utilizar este generador si se quiere modelar más de una variable.

## **2.3 ELECCIÓN DEL MODELO**

Para la elección del modelo de simulación de series sintéticas, aparte de la disponibilidad de los mismos (no había mucho donde elegir), los criterios que se han tenido en cuenta han sido la amplitud de zonas climáticas en las que está constatado que el generador climático da unos resultados aceptables y, una vez comprobado que esto es cierto, la calidad de los datos que aporta en comparación con otros modelos. En menor medida otros factores a tener en cuenta son la metodología empleada en la generación de las series sintéticas o la forma que tienen de presentar los resultados.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, podemos descartar en primera instancia el modelo CLIGEN, ya que en la generación de series diarias no tiene en cuenta la dependencia entre las distintas variables meteorológicas, y sólo sería útil para generar una sola variable. En consecuencia, nos vamos a centrar solamente en los generadores WGEN y LARS-WG, para los cuales se va a realizar una comparación para escoger el que mejor se adapte a nuestros fines.

### **2.3.1 COMPARACIÓN WGEN vs LARS-WG**

Como se ha dicho anteriormente para la elección del modelo se van a tener en cuenta principalmente dos criterios: la diversidad de climas en los que han sido testados y la calidad de los datos que ofrecen.

#### **1. Diversidad de climas**

Los lugares donde han sido probados ambos generadores representan la mayor diversidad de climas posibles en todo el mundo. La clasificación de los ecosistemas presentada en Bailey (1989) se ha tomado como referencia en la definición de los diferentes climas, que diferencia 4 grandes grupos climáticos (polar, húmedo templado,

árido y húmedo tropical), que a su vez se subdividen en 6, 12, 8 y 4 zonas climáticas. Los lugares seleccionados para testar la calidad de las series obtenidas con ambos generadores se localizan en 12 de las 30 zonas climáticas: 1 en polar, 3 en áridas y 8 en húmedo templado. Estos puntos se sitúan principalmente en USA y Europa, además de 2 en Asia, de esta forma se representan las principales climatologías terrestres con el objetivo de identificar las principales diferencias de funcionamiento, y las diferencias entre los dos generadores.

## **2. Calidad de datos**

Para hacer una comparación de los dos modelos se debe disponer de las series climáticas de datos diarios de las distintas variables meteorológicas (temperatura máxima y mínima, radiación solar y precipitación). No existe una limitación de años estandarizada para generar parámetros en un lugar (LARS-WG puede operar con sólo datos de un año). Sin embargo se requieren largos registros para generar series representativas y no en todos los sitios son necesarios el mismo número de años, de esta forma, se ha demostrado que en Sevilla es suficiente con 17 años, mientras que en el Caribe mejicano se debe trabajar con series de al menos 50 años.

El objetivo de diseñar un generador climático es producir series sintéticas de datos climáticos lo más estadísticamente similares a los datos recogidos por las estaciones meteorológicas. Los dos generadores analizados en este trabajo se probaron en 18 lugares diferentes y no en todos ellos las pruebas estadísticas entre las series sintéticas generadas y las observadas coincidieron, considerando un nivel de confianza del 95 %.

La estructura de ambos es similar, ya que utilizan parámetros de distribución diaria y analizan los días secos y lluviosos de forma separada. Sin embargo difieren en un aspecto fundamental como el tipo de distribución diaria empleada, ya que, mientras WGEN usa distribuciones simples normales, LARS-WG maneja distribuciones semi-empíricas, que son más flexibles. Las ventajas de trabajar con modelos que emplean distribuciones normales es que, su manejo es más sencillo y funcionan bastante bien en climas donde no ocurren fenómenos atmosféricos extremos., sin embargo si se manejan distribuciones semi-empíricas esto no ocurre. Las limitaciones de emplear distribuciones simples se hacen evidentes en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en los 18 lugares mencionados anteriormente, demostrándose que con LARS-WG se obtienen unos resultados mucho mejores y más fiables que con WGEN.

En conclusión, apreciando la evidente similitud de ambos modelos, para la elección de uno u otro, el criterio tenido en cuenta va a ser la calidad de los datos que aporta el modelo. En este caso la bibliografía consultada afirma que LARS-WG es un modelo más fiable en ese aspecto que WGEN, ya que utiliza una metodología más compleja en el análisis y la generación de datos, y que se adapta mejor a diversos climas y a fenómenos meteorológicos poco comunes.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO LARS-WG

### 2.4.1 INTRODUCCIÓN

LARS-WG es un generador climático estocástico que se utiliza generalmente para simular datos climáticos en un lugar concreto, para condiciones climáticas presentes y futuras. Estos datos se encuentran en forma de series diarias para unas determinadas variables climáticas, que son precipitación (mm), temperatura máxima y mínima (°C) y radiación solar (MJ / m<sup>2</sup> día).

Los generadores estocásticos de clima fueron desarrollados en un principio con dos propósitos:

1. Proporcionar una simulación sintética de series climáticas con sus parámetros estadísticos, que correspondan a los observados en un lugar y que sean lo suficientemente largos para que puedan ser usados en evaluaciones de riesgo para aplicaciones agronómicas o hidrológicas.
2. Proporcionar una simulación extensa de series climáticas en puntos donde no se dispone de series históricas, mediante la interpolación de los parámetros climáticos obtenidos por el modelo en lugares próximos. Con respecto a los estudios de cambio climático, decir que los generadores estocásticos no son herramientas predictivas que puedan ser utilizadas para predicciones meteorológicas.

La mayoría de los generadores de tiempo, incluido LARS-WG, se estructuran de la siguiente forma: por una parte se constituye de un generador de precipitaciones, que produce series sintéticas diarias con valores estimados de lluvia; y por otro lado consta de un generador de temperatura que hace lo mismo con las temperaturas mínimas y máximas diarias. Se distinguen cuatro tipos de **generadores de precipitaciones** según se describe en Srikanthan, 2001: “*two-part model*”, “*transition probability model*”, “*resampling model*” y “*ARMA model*”. El modelo de dos etapas, “*two-part model*”, es el que emplean prácticamente todos los generadores climáticos, considera de forma separada la ocurrencia de días de lluvia y la cantidad de precipitaciones. Los modelos de ocurrencia son principalmente de dos tipos: los modelos basados en cadenas de Markov, en los cuales se especifica el estado de cada día (lluvioso o seco) y se intenta relacionar el estado del día actual con el estado de los días anteriores; y los modelos que ven a la serie de la ocurrencia como una secuencia de períodos secos y lluviosos alternados cuya distribución es considerada independiente (distribuciones semi-empíricas, LARS-WG). La cantidad de precipitación para un día determinado, es considerada independientemente de lo sucedido en días anteriores. Para modelar las precipitaciones se suelen utilizar distintas funciones paramétricas (Gamma, Weibull, Doble Exponencial) que permiten ajustar la distribución de la serie.

En cuanto a los **generadores de temperatura**, una característica fundamental que deben preservar es la autocorrelación temporal que generalmente presentan los índices de temperatura mínima y máxima. Si bien existen una gran variedad de modelos, en general se asume que ambos índices tienen una distribución normal y que su valor, para un día determinado, depende del estado de ese día (seco o lluvioso) y de las temperaturas de los días anteriores. En este caso, en el desarrollo de estos modelos se toma como base el modelo propuesto por Richardson, 1981. Este modelo toma las series sin el ciclo estacional y define la temperatura de un día determinado en función de la temperatura del día anterior. La bondad de los diferentes modelos propuestos, tanto para precipitaciones como para temperatura, en general depende de las características del clima sobre el cual el modelo se utiliza. La posibilidad de obtener un generador universal, que pueda ser utilizado sobre diferentes regímenes climáticos, constituye la principal motivación en el desarrollo de un nuevo modelo de generadores de climáticos.

La primera versión del generador climático LARS-WG fue desarrollada en Budapest en el año 1990 como parte del proyecto “Evaluación de riesgos en la agricultura en Hungría” publicado en Rackso *et al* 1991. El principal objetivo de este trabajo fue superar las limitaciones del modelo de cadenas de Markov en la ocurrencia de precipitaciones (Bailey, 1964; Richardson, 1981). Este modelo considera dos estatus de precipitación, seco y húmedo, y sólo tiene en cuenta las condiciones del día anterior, de esta forma no siempre se puede simular correctamente el evento de máxima precipitación. Además se puso en entredicho la necesidad de una estimación más precisa de los periodos más largos de sequía y eventos lluviosos, lo cual es fundamental para realizar una evaluación lo más real posible de la producción agrícola en algunos lugares del mundo.

## 2.4.2 EXPLICACIÓN DEL MODELO

LARS-WG utiliza distribuciones semi-empíricas, es decir, aquellas que utilizan leyes físicas y estimaciones empíricas simultáneamente, para modelar las series diarias de precipitación y radiación solar. La distribución semi-empírica  $Emp = \{a_0, a_i; h_i, i = 1, \dots, 24\}$  es un histograma con 24 intervalos,  $[a_{i-1}, a_i)$ , donde  $a_{i-1} < a_i$ ;  $h_i$  indica la proporción de eventos de los datos observados que entran dentro de cada intervalo. Los valores aleatorios de las distribuciones semi-empíricas son elegidos por la primera selección de uno de los intervalos (usando la proporción de eventos en cada intervalo como la probabilidad de selección). Como cada distribución es flexible puede ajustarse modificando los intervalos  $[a_{i-1}, a_i)$ . Los intervalos  $[a_{i-1}, a_i)$  son elegidos en base a las propiedades esperadas de las variables climáticas. Para la radiación solar, los intervalos  $[a_{i-1}, a_i)$  son igualmente escogidos según los valores mínimos y máximos observados para cada mes, mientras que para la precipitación el tamaño del intervalo aumenta gradualmente como lo hace  $i$ .

La temperatura máxima y mínima diaria y la radiación solar se modelan en función de la nubosidad prevista, es por esto por lo que LARS-WG emplea distribuciones diferentes si el día es seco o lluvioso. Por ello el primer paso que realiza el programa es determinar la naturaleza del día (seco o lluvioso), y después aplica la distribución. El uso de distribuciones semi-empíricas proporciona flexibilidad al generador, permitiéndole modelar una gran variedad de distribuciones. El análisis de los datos observados en diversos lugares de la tierra ha llevado a la conclusión de que utilizando distribuciones semi-empíricas se consigue, en general, resultados más satisfactorios que empleando distribuciones normales (Semenov et al. 1998)

## **Precipitación**

El proceso de simulación de la ocurrencia de precipitación se basa en distribuciones de secuencias continuas o eventos, de días secos y lluviosos. La longitud de estos eventos la modela mediante una distribución semi-empírica ajustada a los datos observados. Esta es la principal diferencia con las aproximaciones descritas en Bailey (1964) y utilizadas por Richardson (1981), que aplican el modelo de primer orden de cadenas de Markov para predecir la ocurrencia de días húmedos o secos. El principal inconveniente de este último método es que tiene “memoria” limitada en eventos poco comunes, como por ejemplo simular la longitud de los eventos no lluviosos en ciertas localizaciones (Racsko et al., 1991). Este problema se resuelve utilizando series aproximadas donde la distribución se deriva de la acumulación de información proveniente de las observaciones de los datos climáticos disponibles. Además LARS-WG también simula la cantidad de precipitación en días lluviosos, para lo que también emplea una distribución semi-empírica.

Los resultados obtenidos en experimentos muestran que la habilidad del modelo de cadenas de Markov para reproducir todas las características de la distribución de los eventos lluviosos y secos es limitada, de forma que este modelo no es capaz de reproducir con la suficiente precisión las distribuciones de los eventos. Esto puede desestimar la longitud máxima de los eventos, un ejemplo de ello ocurrió en la generación de una serie sintética de 300 años en Atenas. WGEN estimó que la longitud máxima de un evento seco en invierno era de 36 días, mientras que en 25 años de datos observados a había un evento no lluvioso de 65 días,

## **Temperatura diaria y radiación solar**

La temperaturas máximas y mínimas diarias se modelan mediante distribuciones normales en función de la naturaleza del evento (húmedo o seco). La temperatura se considera como un proceso estocástico, el cual es analizado usando una técnica similar a la presentada en Yevjevich (1972) y Richardson (1981). Con los datos observados se

analizan las correlaciones existentes entre cada variable y, mediante las series de Fourier se interpolan las medias y desviaciones típicas.

La radiación se modela usando distribuciones semi-empíricas para días secos y húmedos ya que la forma en la que se distribuye la radiación puede variar notablemente entre dos meses distintos en el mismo sitio. Como ocurre con la temperatura, algunos generadores tienden a desestimar la variación interanual de esta variable, cosa que no ocurre si, como es el caso, se utilizan distribuciones semi-empíricas.

## **2.5 APLICACIÓN DEL MODELO LARS-WG**

El proceso de generación de datos climáticos sintéticos se divide fundamentalmente en 3 partes a partir de las cuáles, de un conjunto de datos climáticos recogidos, se genera una serie de datos sintéticos de la longitud deseada. A continuación se describen los pasos realizados para la generación de las series sintéticas en este trabajo:

### **2.5.1 Calibración del modelo: SITE ANALYSIS**

Para comenzar el proceso pinchamos sobre la pestaña Analysis/Site, al hacerlo nos aparecerá una ventana con un directorio, en el cuál deberemos indicar la localización del archivo con los datos climáticos del lugar donde queremos generar los datos sintéticos. Previamente habremos de haber convertido el archivo climático de un bloc de notas a un archivo con la extensión DAT (es el que lee el programa). Una vez hayamos puesto la dirección del archivo DAT pulsamos sobre el segundo icono, dando comienzo el proceso de análisis de los datos meteorológicos del lugar. Si todo está correcto aparecerá una ventana con el mensaje “Success”, de lo contrario se abrirá un bloc de notas con una descripción de todos los errores que contienen los datos meteorológicos, indicando el día, el año y la errata. Los errores más comunes que se detectan son temperaturas máximas diarias menores que las mínimas (y al revés), y valores de precipitación y radiación solar muy elevados o negativos. A continuación se deben corregir estos errores del archivo DAT y hacer lo mismo, esta vez el proceso se efectuará correctamente. Una vez realizado este proceso se generarán tres nuevos archivos en la carpeta Sitebase del programa con todas las estadísticas de los datos meteorológicos, estos archivos son nombrados con las extensiones \*.wgx, \*.stx y \*.tst, su explicación viene detallada en el Anexo 2 del presente trabajo.

### **2.5.2 Validación del modelo: QTEST**

Una vez se ha calibrado el programa con los datos del lugar se comprueba si se ha hecho correctamente mediante el procedimiento del QTest. En este apartado los valores de los parámetros estadísticos de los datos climáticos observados y de los sintéticos son analizados para determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre ambos. Esta determinación se realiza fundamentalmente mediante el cálculo del valor-p, de forma que si el valor de éste es mayor de 0,05 se considera que no existen diferencias significativas entre los datos observados y los generados. Para comenzar el QTest pinchamos sobre la pestaña Analysis/QTest, seguidamente aparecerá un directorio donde introduciremos la ubicación del archivo climático con la extensión \*.DAT. Automáticamente se generará un archivo \*.tst que contiene todas las comprobaciones realizadas entre los datos observados y los generados.

### **2.5.3 Generación de series sintéticas: GENERATOR**

Una vez calibrado y comprobado la representatividad de LARS-WG puede comenzar el proceso de generación de datos sintéticos. Para ello el programa utiliza los archivos con la información de los valores de los parámetros estadísticos derivados de los datos climáticos observados para generar datos climáticos sintéticos, que tienen los mismos valores estadísticos que los datos observados, pero cuyos datos climáticos generados difieren de los observados.

Para realizar este proceso pulsa sobre la pestaña Generator y rellena el cuadro que aparece a continuación tal y como se indica en el Anexo 2. Posteriormente se generará un archivo de datos climáticos sintéticos de la longitud deseada que aparecerá en el directorio Sitebase.

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



## 3.1 PARÁMETROS CLIMÁTICOS

### 3.1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de una gran cantidad de datos individuales de una población puede ser laborioso e inoperativo, por lo que se hace necesario realizar un resumen que permita tener una idea global del conjunto de datos, compararlo con otros, comprobar su ajuste a un modelo ideal, realizar estimaciones sobre datos desconocidos del mismo y, en definitiva, tomar decisiones. Ante esta necesidad surge el concepto de parámetro. En estadística, un **parámetro** es un número que resume una serie de datos que pueden derivarse del estudio de una variable. El cálculo de este número está bien definido, habitualmente mediante una fórmula aritmética obtenida a partir de datos de la serie.

El clima abarca los valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un período representativo. Estos valores se obtienen con la recopilación de forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante períodos que se consideran suficientemente representativos, de alrededor de 30 años. Estos periodos necesitan ser más largos en las zonas subtropicales y templadas que en la zona intertropical, especialmente, en la franja ecuatorial, donde el clima es más estable y menos variable en lo que respecta a los parámetros meteorológicos. Los factores naturales que afectan al clima son las estaciones del año, la latitud, altitud, junto con el relieve, continentalidad (o distancia al mar) y corrientes marinas. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global.

Los elementos constituyentes del clima son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. Tener un registro durante muchos años de los valores correspondientes a dichos elementos con respecto a un lugar determinado, nos sirve para poder definir cómo es el clima de ese lugar. De estos cinco elementos, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones, porque en gran parte, los otros tres elementos o rasgos del clima están estrechamente relacionados con los dos que se han citado. Ello significa que la mayor o menor temperatura da origen a una menor o mayor presión atmosférica, respectivamente, ya que el aire caliente tiene menor densidad y por ello se eleva (ciclón o zona de baja presión), mientras que el aire frío tiene mayor densidad y tiene tendencia a descender (zona de alta presión o anticiclón). A su vez, estas diferencias de presión dan origen a los vientos (de los anticiclones a los ciclones), los cuales transportan la humedad y las nubes y, por lo tanto, dan origen a la desigual repartición de las lluvias sobre la superficie terrestre.

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

El modelo LARS-WG, tras realizar el análisis de los datos meteorológicos observados, calcula una serie de parámetros propios de dicho clima. Estos parámetros están relacionados con las variables climáticas que modela el generador climático, que son precipitación, radiación solar, temperatura máxima y mínima diaria. De esta forma los parámetros que genera el modelo LARS-WG son los siguientes:

#### ➤ EVENTOS LLUVIOSOS

##### a) Duración máxima

Parámetro mensual que indica el número máximo de días que ha durado un evento lluvioso en un lugar concreto. Es decir, el mayor número de días consecutivos de cada mes en los que ha habido precipitación a lo largo del registro de mediciones de las variables meteorológicas.

##### b) Duración media

Es un parámetro que representa la longitud media de los eventos lluviosos mes a mes. Expresa el número medio de días lluviosos consecutivos que ocurren cada mes.

#### ➤ EVENTOS SECOS

##### a) Duración máxima

Se refiere a la longitud máxima de los eventos no lluviosos o secos. Indican, mes a mes, el número máximo de días consecutivos en los que no se registraron precipitaciones.

##### b) Duración media

Expresa el número medio de días consecutivos en los que no se produce ninguna precipitación mes a mes.

#### ➤ PRECIPITACIÓN

##### a) Máxima mensual

Representa la máxima precipitación recogida durante cada uno de los meses del año a lo largo de toda la serie de datos observados.

##### b) Mínima mensual

Es la mínima precipitación recogida para cada mes en el conjunto de años en los que se recogieron datos de precipitación.

**c) Media mensual**

Media del conjunto de precipitación recogida para cada mes a lo largo de toda la serie de datos. Además cuenta con el dato de la desviación típica (sd).

**d) Media máxima diaria**

Promedio interanual del conjunto de precipitaciones diarias máximas de cada mes.

**e) Percentil 95**

Cantidad de lluvia diaria caída que tiene un valor mayor que el del 95 % de las precipitaciones diarias registradas a lo largo de toda la serie.

**f) Máxima diaria**

Registro más alto de precipitación diaria recogido en cada mes a lo largo de la serie.

➤ **TEMPERATURA MÁXIMA**

**a) Media máxima mensual**

Promedio interanual del conjunto de temperaturas máximas mensuales medias más altas.

**b) Media mínima mensual**

Promedio interanual del conjunto de temperaturas máximas mensuales medias más bajas.

**c) Media mensual**

Es el promedio interanual de las temperaturas máximas medias mensuales.

**d) Media máxima diaria**

Promedio del conjunto de temperaturas máximas diarias mensuales más altas.

**e) Percentil 95**

Temperatura máxima diaria mensual cuyo valor es mayor que el del 95 % de las temperaturas máximas diarias mensuales.

**f) Máxima diaria**

Temperatura máxima diaria mensual más alta recogida a lo largo de toda la serie de años.

**g) Media mínima diaria**

Promedio del conjunto de temperaturas máximas diarias mensuales más bajas.

#### **h) Percentil 5**

Temperatura máxima diaria mensual cuyo valor es menor que el del 5 % de las temperaturas máximas diarias mensuales.

#### **i) Mínima diaria**

Temperatura máxima diaria mensual más baja recogida a lo largo de toda la serie de años.

### **➤ TEMPERATURA MÍNIMA**

#### **a) Media máxima mensual**

Promedio interanual del conjunto de temperaturas mínimas mensuales medias más altas.

#### **b) Media mínima mensual**

Promedio interanual del conjunto de temperaturas mínimas mensuales medias más bajas.

#### **c) Media mensual**

Es el promedio interanual de las temperaturas mínimas medias mensuales.

#### **d) Media mínima diaria**

Promedio del conjunto de temperaturas mínimas diarias mensuales más bajas.

#### **e) Percentil 5**

Temperatura mínima diaria mensual cuyo valor es menor que el del 5 % de las temperaturas mínimas diarias mensuales.

#### **f) Mínima diaria**

Temperatura mínima diaria mensual más baja recogida a lo largo de toda la serie de años.

#### **g) Media máxima diaria**

Promedio del conjunto de temperaturas mínimas diarias mensuales más altas.

#### **h) Percentil 95**

Temperatura mínima diaria mensual cuyo valor es mayor que el del 95 % de las temperaturas mínimas diarias mensuales.

#### **i) Máxima diaria**

Temperatura mínima diaria mensual más alta recogida a lo largo de toda la serie de años.

## ➤ RADIACIÓN SOLAR

### a) Media máxima mensual

Promedio interanual del conjunto de las mediciones de radiación solar mensual media más alta.

### b) Media mínima mensual

Promedio interanual del conjunto de las mediciones de radiación solar mensual media más baja.

### c) Media mensual

Promedio interanual del conjunto de las mediciones de radiación solar mensual media.

## 3.1.3 RESULTADOS DE LAS ESTACIONES

En el Anexo 4 se presentan todos los resultados de los parámetros climáticos de precipitación calculados por el programa en cada punto de Álava y alrededores donde existe una estación meteorológica. Como resumen cabe destacar la siguiente tabla donde se exponen los resultados obtenidos de precipitación media mensual y anual (mm) en 18 lugares, que son los siguientes:

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	SUMA
<b>ALBINA</b>	120,6	104,4	101,8	123,9	92,9	54,8	46,5	51,1	61,5	106,8	140,1	132,5	<b>1.136,7</b>
<b>ARRIOLA</b>	100,3	84,1	81,3	101,9	89,8	58,6	42,1	45,3	57,5	100,2	126,3	121,7	<b>1.009,2</b>
<b>LAGRÁN</b>	83,3	77,8	74,8	97,8	84,0	56,5	35,5	33,8	52,1	74,7	108,4	94,3	<b>872,9</b>
<b>MURGUÍA</b>	122,4	107,9	101,1	124,3	100,1	62,4	40,7	50,5	52,5	106,8	132,4	132,5	<b>1.133,6</b>
<b>OPACUA</b>	84,4	70,2	61,8	100,1	75,4	55,1	43,6	43,4	47,7	81,3	105,7	94,4	<b>862,9</b>
<b>SALINAS DE ANA</b>	64,6	55,5	53,6	70,6	68,7	48,4	32,6	36,4	46,1	59,3	80,8	71,6	<b>688,2</b>
<b>SENDADIANO</b>	102,5	85,8	86,2	111,9	98,6	58,8	38,9	49,0	51,3	85,9	120,9	110,6	<b>1.000,3</b>
<b>ULLIVARRI- GAMBOA</b>	87,0	70,2	78,6	88,3	73,6	51,4	34,5	42,2	49,5	78,6	105,6	98,5	<b>857,8</b>
<b>GÁMIZ</b>	66,8	56,7	55,9	79,4	72,2	46,2	35,8	34,9	42,8	67,7	82,6	73,6	<b>714,6</b>
<b>PEÑACERRADA</b>	70,5	61,0	60,4	86,6	79,0	52,9	33,4	32,7	45,9	65,5	94,3	80,6	<b>763,0</b>
<b>ARCAUTE</b>	69,6	54,4	60,2	74,1	71,2	53,4	31,8	36,1	47,6	72,2	86,5	91,4	<b>748,5</b>
<b>AMURRIO</b>	113,4	93,3	97,1	20,6	95,5	66,0	51,0	63,5	59,2	106,9	127,2	104,7	<b>926,8</b>
<b>CAMPEZO</b>	72,3	62,6	64,0	81,7	67,1	49,8	36,6	26,0	41,7	70,9	95,0	93,1	<b>760,6</b>
<b>ZAMBRANA</b>	53,0	40,5	39,2	64,6	65,4	44,5	32,1	29,7	39,3	45,5	53,4	49,7	<b>556,8</b>
<b>BALMASEDA</b>	143,5	116,1	127,3	131,9	86,4	56,0	45,4	58,3	67,6	121,2	153,3	143,4	<b>1.250,4</b>
<b>ALSASUA</b>	129,8	110,6	112,5	125,9	18,8	65,9	40,3	39,8	69,0	108,0	156,5	140,0	<b>1.117,1</b>
<b>VIANA</b>	37,0	28,4	31,5	49,6	43,8	46,7	28,0	19,3	31,1	41,3	47,3	43,3	<b>447,4</b>
<b>MIRANDA DE EBRO</b>	44,9	39,3	35,9	59,5	55,9	50,1	32,1	28,8	35,9	49,9	56,8	53,3	<b>542,4</b>

### 3.1.4 TEST DE BONDAD DE AJUSTE

El uso de la estadística es de gran importancia en la investigación científica, de modo que casi todas las investigaciones aplicadas requieren algún tipo de análisis estadístico para que sea posible evaluar sus resultados. En algunos casos, para resolver un problema de carácter empírico, es preciso llevar a cabo un análisis bastante complejo; otras veces, basta con efectuar un análisis muy simple y directo. La elección de uno u otro tipo de análisis estadístico depende del problema que se plantee en el estudio así como de la naturaleza de los datos. Desde este punto de vista, la estadística constituye un instrumento de investigación y no un producto final de esta última.

Dentro de la estadística se aplican en la investigación dos tipos de test: paramétricos y no paramétricos. Entre los test no paramétricos que comúnmente se utilizan para verificar si una distribución se ajusta o no a una distribución esperada, se encuentra el test de Kolmogorov-Smirnov (KS test). Este test es el que utiliza LARS-WG para comprobar que se cumple esta premisa, y se caracteriza especialmente por ser bastante potente con muestras grandes.

La prueba de K-S de una muestra es un test de bondad de ajuste. Esto es, se interesa en el grado de acuerdo entre la distribución de un conjunto de valores de la muestra y alguna distribución teórica específica. Determina si razonablemente puede pensarse que las mediciones muestrales provengan de una población que tenga esa distribución teórica. En la prueba se compara la distribución de frecuencia acumulada de la distribución teórica con la distribución de frecuencia acumulada observada y se determina el punto en el que estas dos distribuciones muestran la mayor divergencia.

Hipótesis nula,  $H_0$ : La distribución observada se ajusta a la distribución teórica.

$$F(x) = F_t(x) \text{ para todo } x.$$

Hipótesis alternativa,  $H_1$ : La distribución observada no se ajusta a la teórica.

$$F(x) \neq F_t(x) \text{ para algún } x$$

Siendo:

$F(x)$ : la función desconocida

$F_t(x)$ : la función teórica

Este test se utiliza para probar hipótesis acerca de la distribución de la población, de la cual se extrae una variable aleatoria. La hipótesis nula para la prueba de bondad de ajuste es que la distribución de la población es una distribución dada frente a la alternativa de que los datos no se ajustan a la distribución dada.

Para esta prueba consideremos lo siguiente:

Si se tiene una muestra de variables aleatorias  $X: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  se define la función de distribución empírica de la muestra:

$$Ft(X_i) = \begin{cases} 0 & , X < x_{(1)} \\ \frac{i-1}{n} & , x_{(i-1)} \leq x < x_{(i)} \\ 1 & X \geq x_{(n)} \end{cases} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

Donde  $x_{(1)}, x_{(2)}, x_{(3)}, \dots, x_{(n)}$  constituyen la muestra ordenada de menor a mayor. El estadístico de prueba para este test de Bondad de Ajuste se basa en la mayor distancia entre la distribución empírica de los datos  $Ft(x)$  y la distribución teórica que suponemos para la población  $F(x)$ , entonces:

$$D = \text{Max}|Fe(x) - F(x)|$$

Para aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y poder afirmar que las distribuciones observadas se ajustan a las esperadas es preciso determinar la región de aceptación ( $D$ ). Para ello hay que tener en cuenta el nivel de significación ( $\alpha$ ), que LARS-WG lo toma como 0,05, y como el test de bondad se realiza mes a mes, el número efectivo ( $n$ ) es 12. Con estos parámetros acudimos a la tabla “Test de Kolmogorov-Smirnov sobre Bondad de Ajuste” y vemos que el valor que no puede superar  $D$  para que se acepte la hipótesis nula es:  $D < 0,37543$

La toma de la decisión en el contraste anterior se lleva a cabo también mediante el empleo del  $p$ -valor asociado al estadístico  $D$  observado. El  $p$ -valor se define como:

$$p\text{-valor} = P(D > D_{obs} / H_0 \text{ es cierta})$$

Si el  $p$ -valor es grande significa que, siendo cierta la hipótesis nula, el valor observado del estadístico  $D$  era esperable. Por tanto no hay razón para rechazar dicha hipótesis. Asimismo, si el  $p$ -valor fuera pequeño, ello indicaría que, siendo cierta la hipótesis nula, era muy difícil que se produjera el valor de  $D$  que efectivamente se ha observado. Ello obliga a poner muy en duda, y por tanto a rechazar, la hipótesis nula. De esta forma, para un nivel de significación  $\alpha$ , la regla de decisión para este contraste es:

Si  $p\text{-valor} \geq \alpha \Rightarrow \text{Aceptar } H_0$   
Si  $p\text{-valor} < \alpha \Rightarrow \text{Rechazar } H_0$

Obviamente, la obtención del p-valor requiere conocer la distribución de D bajo la hipótesis nula y hacer el cálculo correspondiente. En el caso particular de la prueba de Kolmogorov Smirnov, la mayoría de los paquetes de software estadístico (también LARS-WG) realizan este cálculo y proporcionan el p-valor directamente.

Dicho esto podemos resumir que, aceptaremos la hipótesis nula, afirmando que la distribución observada se ajusta a la esperada siempre y cuando se cumpla que:

- ✓ El valor del KS test mensual sea tal que:  **$D < 0,37543$**
- ✓ El valor-p sea tal que:  **$p > 0,05$**

El modelo LARS-WG realiza estos dos cálculos y comprobaciones antes de pasar al proceso de generación de las series sintéticas, de modo que, primero genera las funciones de distribución de los datos sintéticos, después comprueba que se cumplen estos dos requisitos, y finalmente genera las series sintéticas de la longitud requerida. De esta forma resulta imposible que el programa genere una serie sintética sin haber realizado previamente estas dos comprobaciones, por lo que se puede asegurar en todo momento de que se cumplen estas dos premisas.

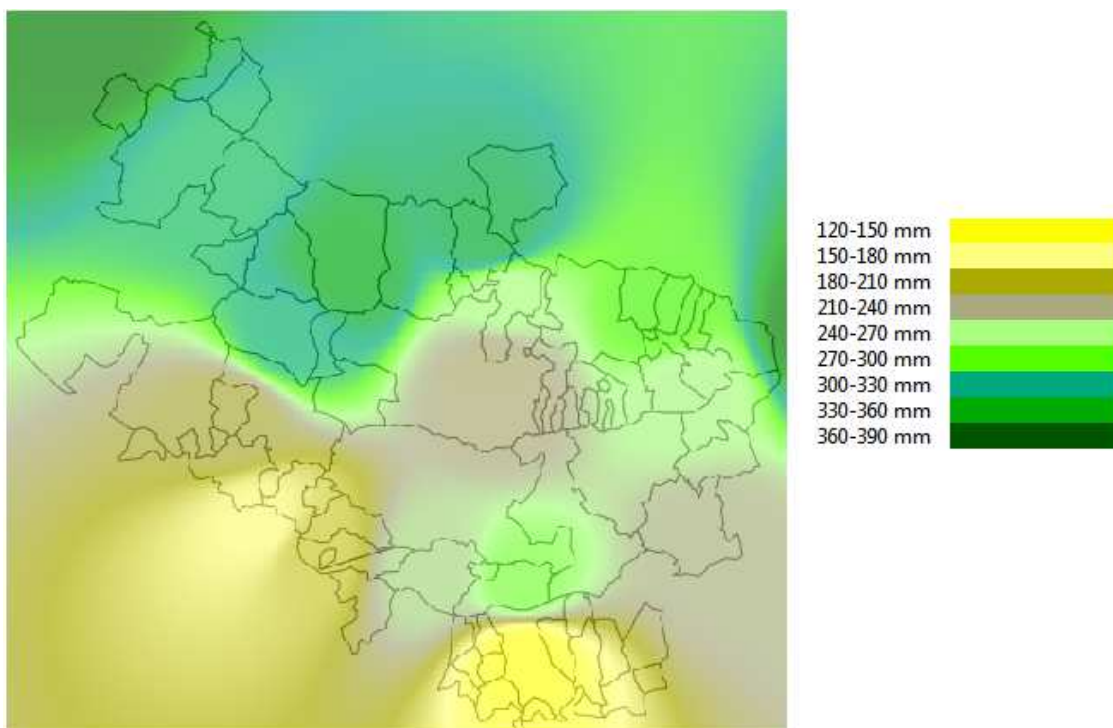
Exponer en este trabajo todas estas comprobaciones realizadas en cada uno de los lugares lo haría muy pesado, y puesto que el programa no deja generar las series sintéticas sin que se cumplan los requisitos estadísticos, no se van a incluir las comprobaciones realizadas en todos los lugares. Únicamente se va a reflejar como modo de ejemplo en el Anexo 5 las comprobaciones referentes a la estación meteorológica de Arcaute.

### 3.1.5 MAPAS DE PRECIPITACIÓN

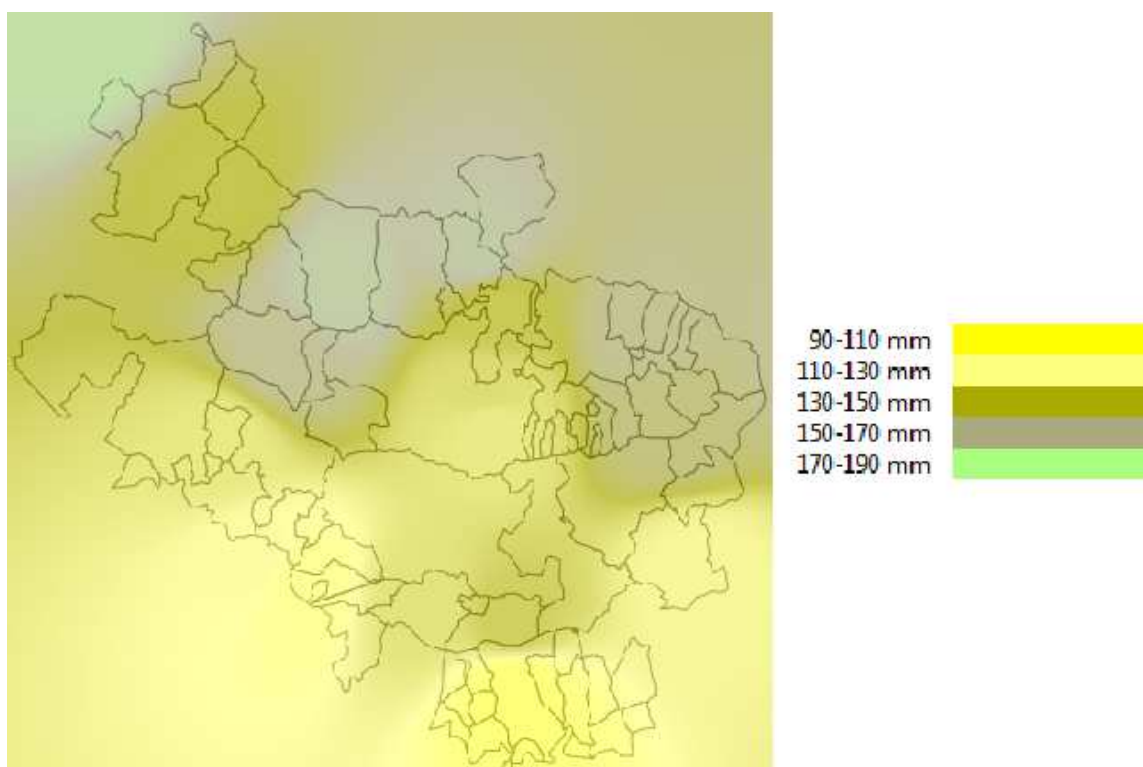
En este apartado se va a realizar la representación espacial de parámetros relacionados con la precipitación. De esta forma se van a exponer los mapas de precipitación media por estaciones (primavera, verano, otoño, invierno), y también los mapas de duración máxima de eventos no lluviosos. El objetivo de esta representación es que de un vistazo, podamos tener una idea de la forma en la que se distribuyen las precipitaciones en Álava.



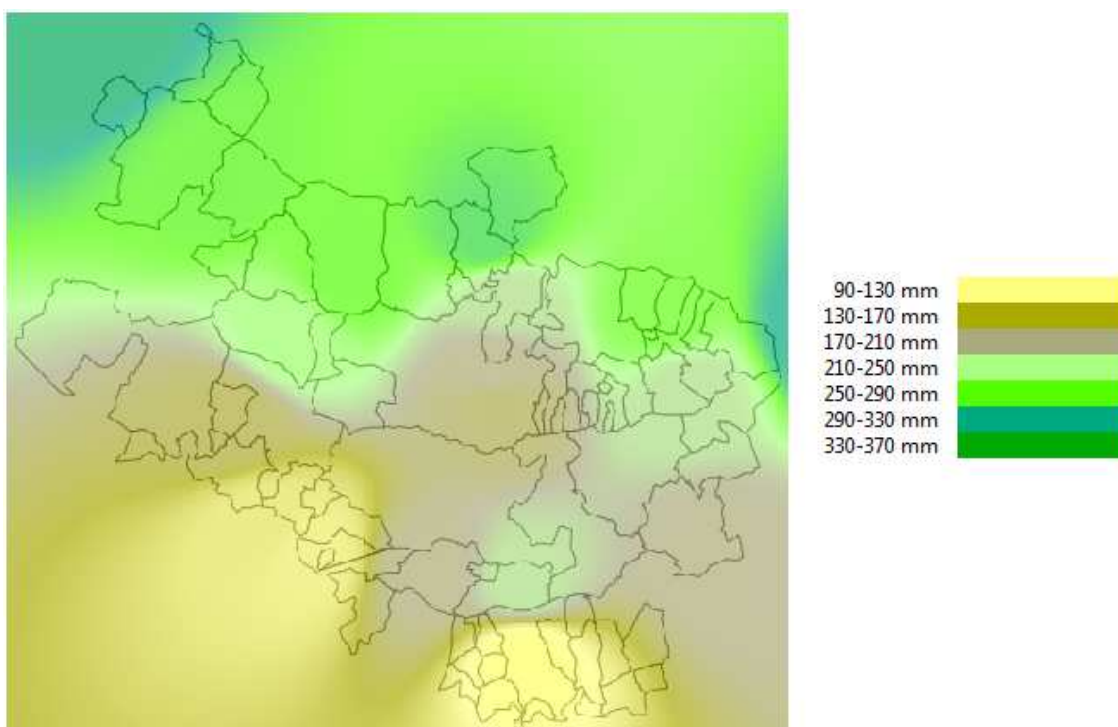
### ❖ Precipitación media PRIMAVERA



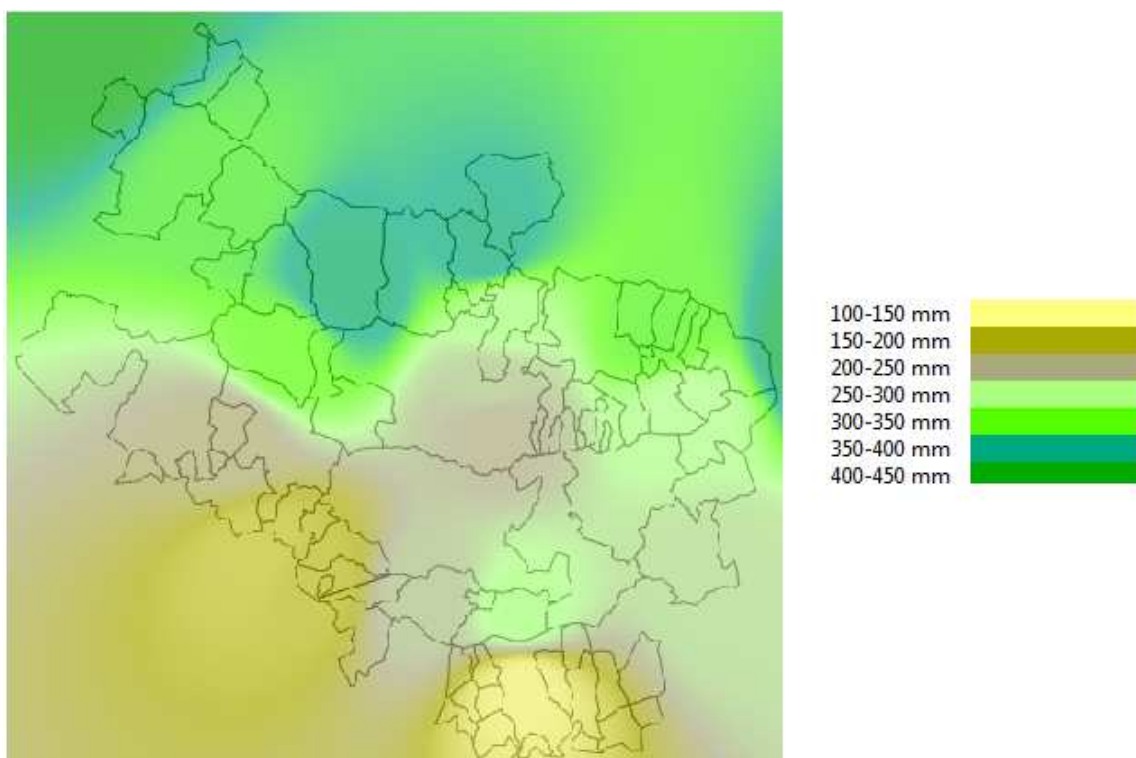
### ❖ Precipitación media VERANO



## ❖ Precipitación media OTOÑO

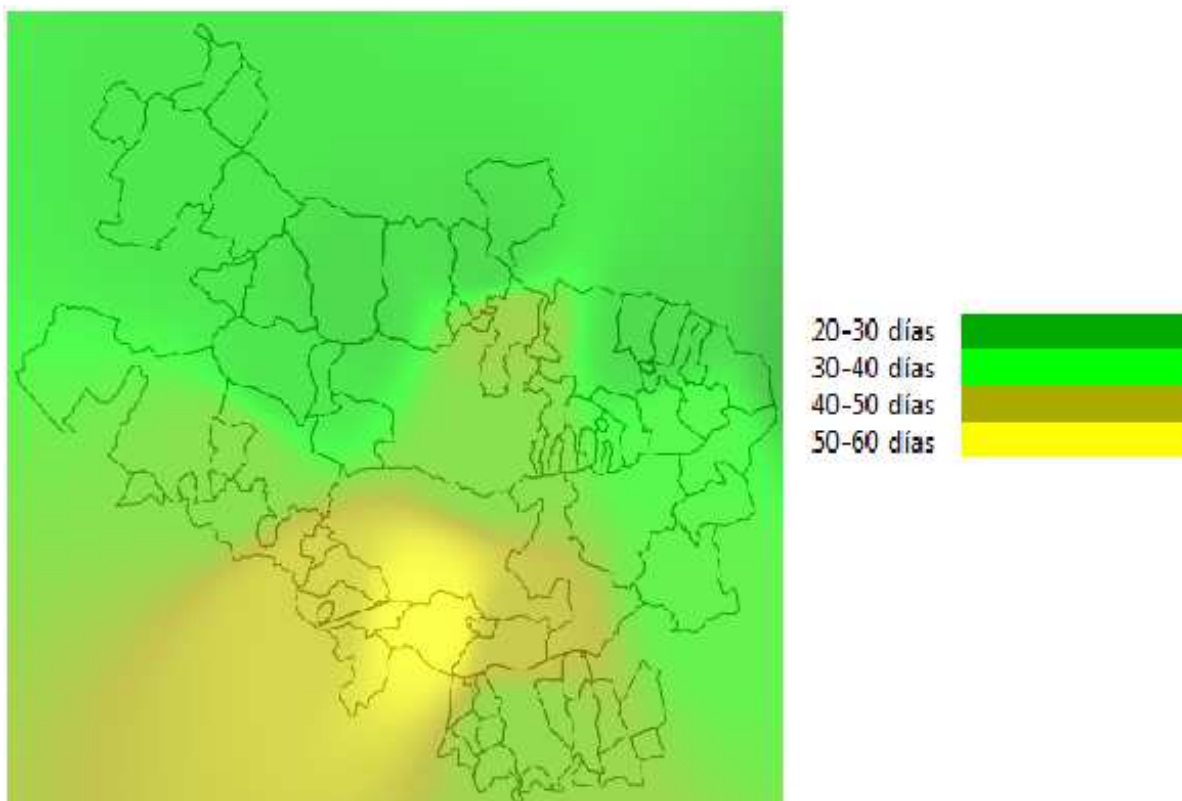


## ❖ Precipitación media INVIERNO

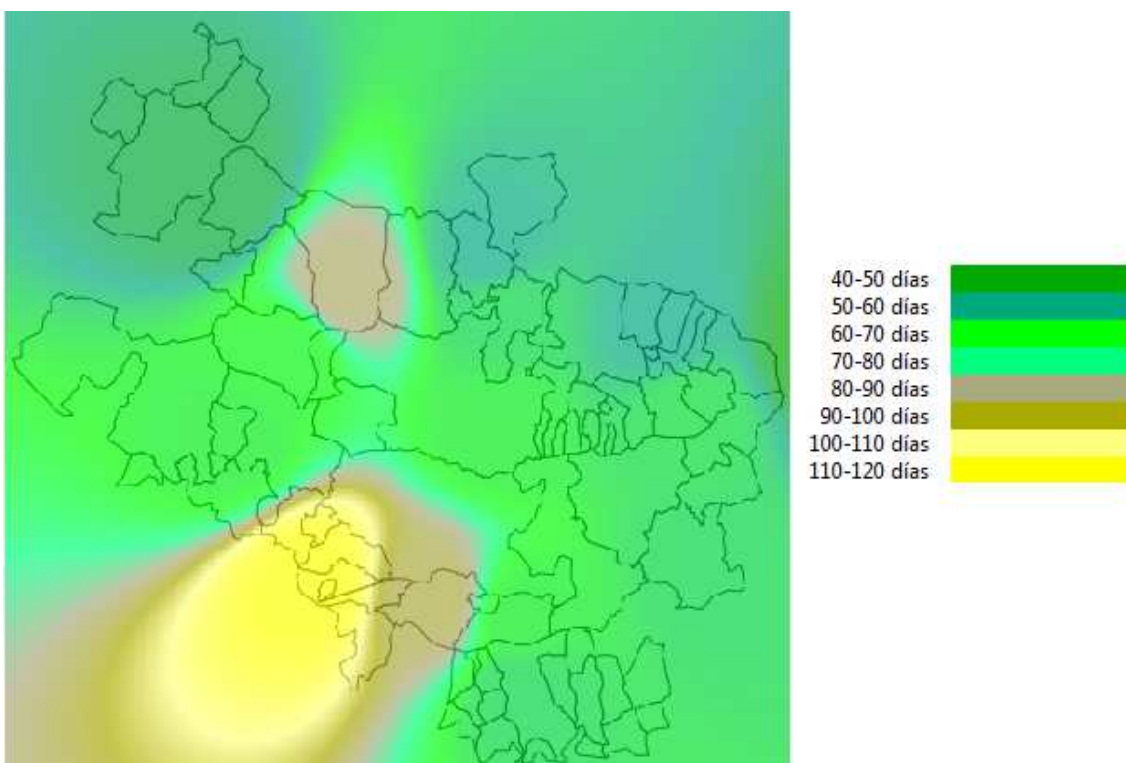


## EVENTOS NO LLUVIOSOS

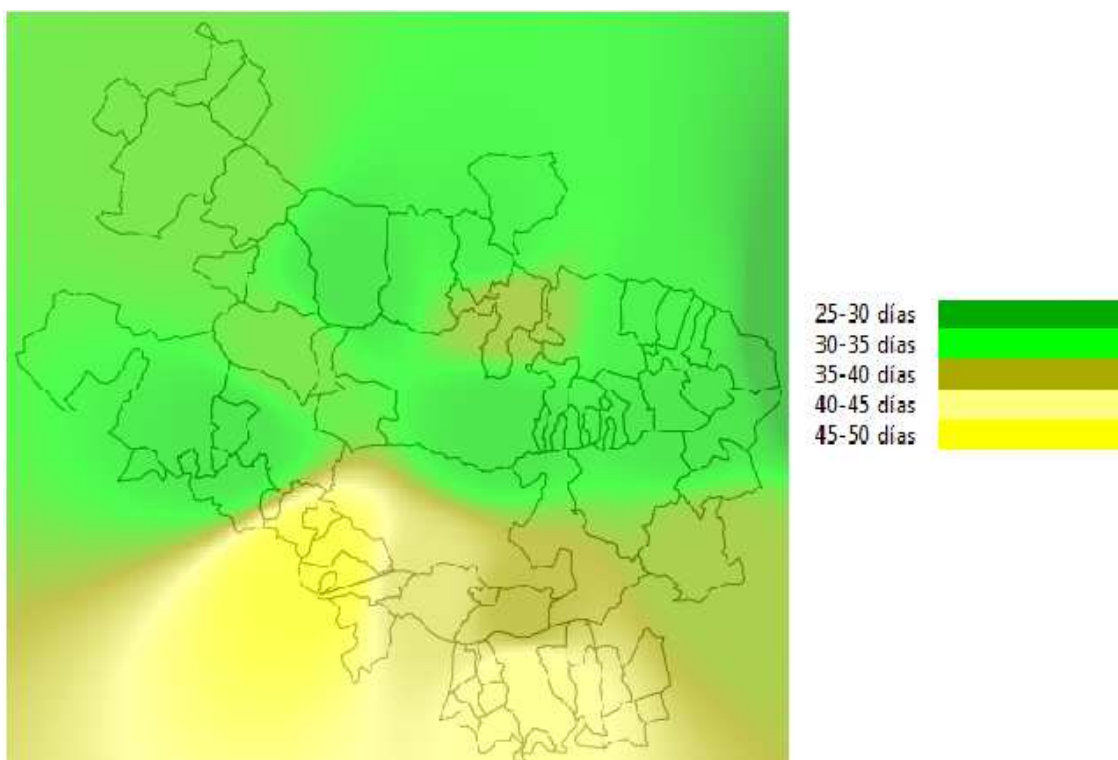
### ❖ Duración máxima PRIMAVERA



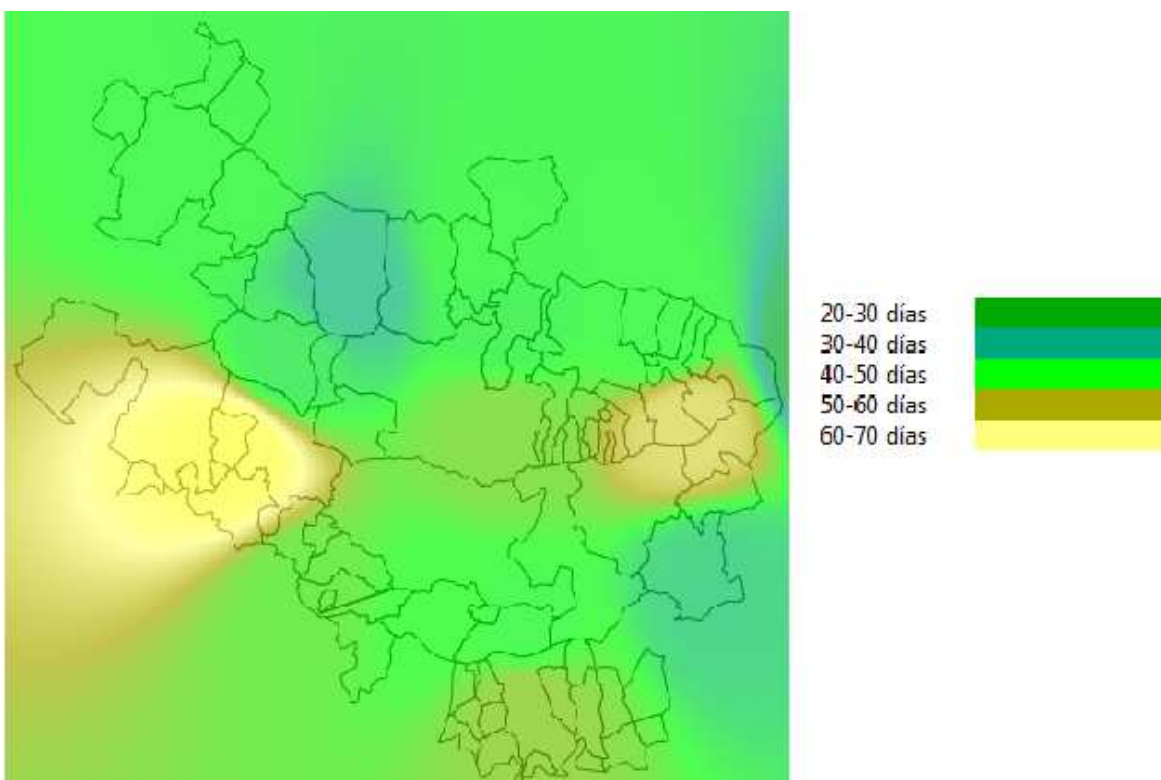
### ❖ Duración máxima VERANO



### ❖ Duración máxima OTOÑO



### ❖ Duración máxima INVIERNO





## 3.2 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

### 3.2.1 INTRODUCCIÓN

Es conocido el hecho de que cuando una superficie de agua se expone al medio ambiente, las moléculas de la parte superior tienden a abandonar el líquido, incorporándose al aire en estado de vapor. El proceso mediante el cual se produce este cambio de estado (de líquido a vapor) se denomina vaporización o evaporación. Físicamente, para que el mismo ocurra necesita cierta cantidad de energía, ya que en toda superficie líquida hay una liberación o entrega de moléculas al medio. En este contexto surge el concepto de evapotranspiración. La evapotranspiración es la pérdida de humedad en la superficie del terreno que se produce a través de la evaporación directa del agua y la transpiración de los seres vivos, en especial de las plantas. Con el objetivo de trasladar esta metodología de cálculo a cada cultivo específico surgió el concepto de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), que es la evapotranspiración de una pradera de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, que crece sin limitaciones de agua o nutrientes (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Las observaciones meteorológicas constituyen una valiosa fuente de información para cuantificar procesos de interés hidrológico o agronómico como el balance del agua en el suelo. La precipitación y la evapotranspiración de referencia, calculada a partir de observaciones meteorológicas, forman las componentes más importantes de este balance, donde el suelo regula el almacenamiento y abastecimiento de agua.

Existen varios métodos para calcular la ET<sub>o</sub>. En general se considera la ecuación de Penman (1948), o alguna de sus variantes, como método de referencia, pero en muchas ocasiones no es aplicable por su exigencia de datos. Debido a esto para estimar cantidad de agua que se evapotranspira en el sistema suelo-planta, en este trabajo se van a plantear alguno de los métodos que, con los datos que disponemos de las estaciones meteorológicas y los parámetros calculados, son capaces de estimar la evapotranspiración de referencia. Dicho esto, los métodos que disponemos para estimar la ETP en nuestra zona son Thornthwaite, Blaney-Cridley y Hargreaves-Samani.

#### 3.2.2.1 Ecuación de Thornthwaite

La fórmula se basa en la temperatura y en la latitud determinando que esta última constituye un buen índice de la energía solar que incide en un lugar específico. Sirve para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climatológicos accesibles si únicamente contamos con estaciones termopluviométricas. Se obtienen buenos resultados en zonas húmedas con vegetación abundante. Su expresión general es:

$$E_{tp} = 16 \left[ \frac{I}{12} \right] \left[ \frac{N}{30} \right] \left[ \frac{10Ta}{I} \right]^a$$

Donde:

**E<sub>tp</sub>**: evaporación potencial (mm)

**T<sub>a</sub>**: temperatura media mensual (°C)

**I**: media mensual de la duración del día

**N**: nº de días del mes

**a**:  $6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7925 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$

**i**: eficiencia de la temperatura

**I**: índice anual de temperatura.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left[ \frac{T_a}{5} \right]^{1,514}$$

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	0,8	0,76

Tabla 1. Valor de I/12 para un determinado mes y latitud

Las críticas que pueden hacerse a este método son:

1. La temperatura no es buena indicadora de la energía disponible para la evapotranspiración.
2. La temperatura del aire respecto a la temperatura de radiación puede ser diferente.
3. El viento puede ser un factor importante en algunas áreas requiriéndose en ocasiones para ello, un factor de corrección.
4. La fórmula no toma en cuenta el efecto de calentamiento o enfriamiento del aire por advección.
5. Se obtienen resultados aceptables en zonas húmedas con vegetación abundante, pero los errores aumentan en zonas áridas o semiáridas.

### 3.2.2.2 Ecuación de Blaney-Cridley

Este método fue descrito Harry F. Blaney y Wayne D. Criddle para el cálculo de la evapotranspiración, consideraron que el consumo de agua de un cultivo era función de la temperatura y la iluminación. De esta forma desarrollaron la siguiente fórmula:

$$ET_o = p (0,46 T_m + 8)$$

**ET<sub>o</sub>**: evapotranspiración de referencia (en mm/día) (promedio de un mes)

**T<sub>m</sub>**: temperatura media diaria mensual (°C)

**p**: % diario de horas de luz del mes, con respecto al total anual.

Porciento de horas de sol mensual (continuación)												
LATITUD SUR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0°	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.68	7.76	8.51	8.15	8.34	8.05	8.33	8.38	8.19	8.56	8.37	8.68
10	8.86	7.87	8.53	8.09	7.18	7.86	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
15	9.05	7.98	8.55	8.02	8.02	7.65	7.95	8.15	8.15	8.68	8.70	9.10
20	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	7.13	8.76	8.87	9.33
25	9.46	8.21	8.60	7.94	7.66	7.20	7.54	7.90	7.11	8.86	9.04	9.58
30	9.70	8.33	8.62	7.73	7.45	6.96	7.31	7.76	8.07	8.97	9.24	9.85
32	9.81	8.39	8.63	7.69	7.36	6.85	7.21	7.70	8.96	9.01	9.33	9.96
34	9.92	8.45	8.64	7.64	7.27	6.74	7.10	7.63	8.05	9.06	9.42	10.08
36	10.03	8.51	8.65	7.59	7.18	6.62	6.99	7.56	8.04	9.11	9.51	10.21
38	10.15	8.57	8.66	7.54	7.08	6.50	6.87	7.49	8.03	9.16	9.61	10.34
40	10.27	8.63	8.67	7.49	6.97	6.37	6.76	7.41	8.02	9.21	9.71	10.49
42	10.40	8.70	8.68	7.44	6.85	6.23	6.64	7.33	8.01	9.26	9.82	10.64
44	10.54	8.70	8.69	7.38	6.73	6.08	6.51	7.25	7.99	9.31	9.94	10.80
46	10.69	8.86	8.70	7.32	6.61	5.02	6.37	7.16	7.96	9.37	10.07	10.97

Tabla 2. Valor de “p” para un determinado mes y latitud

### 3.2.2.3 Ecuación de Hargreaves-Samani

Los parámetros más importantes para la estimación de la ET<sub>o</sub> son la temperatura y la radiación solar, R<sub>s</sub>, explicando por lo menos 80% de la ET<sub>o</sub> (Samani, 2000). El método de Hargreaves (Hargreaves y col., 1985; Hargreaves, 1994) es un método empírico, aunque podría considerarse como semi-empírico dado que la temperatura media del aire en combinación con la radiación extraterrestre es un indicador de la radiación global entrante, y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima está relacionada con la humedad relativa y la nubosidad (Samani y Pessarakli, 1986; Di Stefano y Ferro, 1997; Shuttleworth, 1993). La advección depende de las interacciones de la temperatura, la humedad relativa, y la presión de vapor y el viento, factores meteorológicos que se pueden correlacionar con el rango diario de la temperatura, ΔT. Según Hargreaves (1989) la incorporación de ΔT en una ecuación para estimar la ET<sub>o</sub> compensaría la influencia de la energía advectiva.

La fórmula de Hargreaves-Samani (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la evapotranspiración de referencia necesita solamente datos de temperatura media mensual y de radiación solar ( $R_s$ ), o bien estimar ésta a partir de la radiación solar extraterrestre que llega a la superficie exterior de la atmósfera de la zona en cuestión.. La expresión general simplificada es la siguiente:

$$ET_o = 0,0135 (T_m + 17,78) R_s$$

**ET<sub>o</sub>:** evapotranspiración de referencia diaria, mm/día

**T<sub>m</sub>:** temperatura media diaria en °C

**R<sub>s</sub>:** radiación solar incidente, convertida en mm/día ( $= 58,8 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ )

$$1 \text{ mm/día} = 58,8 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 2,46 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$$

#### 3.2.2.4 Elección del método

Como ya hemos visto, existen varios métodos para calcular la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ). En general se considera la ecuación de Penman-Monteith (1948) como método de referencia, pero en esta ocasión no es aplicable por su exigencia de datos observados. Los métodos basados en la temperatura son más atractivos. Durante décadas el método de Thornthwaite (1948) ha sido muy popular, pero como consecuencia de comentarios de Jensen y col. (1990) fue excluido para su uso posterior. El método de Hargreaves-Samani (Hargreaves y col., 1985; Hargreaves, 1994), requiriendo solamente temperatura y radiación media mensual, fue elegido como el método con resultados más parecidos a la ecuación de Penman-Monteith en un estudio efectuado en 1992 por el Centro de Investigación Común de la Comisión Europea y comentado por Hargreaves (1994) y Shuttleworth (1993).

Tomando como referencia la bibliografía consultada parece ser que el método más apropiado para el cálculo de la  $ET_o$  con los datos que disponemos ( $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{mín}}$  y radiación solar diaria) es el propuesto por Hargreaves y Samani. De esta forma adoptaremos esta ecuación para la estimación de la evapotranspiración de referencia en los lugares de Álava donde contamos con mediciones meteorológicas para ello, con el objetivo de poder estimar las necesidades hídricas de los cultivos..



### 3.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.2.2.1 Hargreaves-Samani

Como ya se ha comentado la ecuación de Hargreaves-Samani utiliza datos de temperatura y radiación solar medias mensuales para el cálculo de la evaporación de referencia (ET<sub>o</sub>) media mensual. En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante esta metodología, mientras que en el anexo 4 están disponibles todos los parámetros climáticos relacionados con la temperatura y la radiación solar en los mismos lugares que aparecen en la siguiente tabla resumen:

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	SUMA
<b>ARCAUTE</b>	16,7	23,8	46,4	59,8	87,9	107,2	116,6	107,7	77,5	45,4	23,6	14,7	<b>727,3</b>
<b>AMURRIO</b>	21,4	29,4	53,1	69,9	96,5	110,6	119,6	108,0	78,8	45,9	25,7	19,2	<b>778,1</b>
<b>CAMPEZO</b>	17,5	25,8	50,7	66,5	96,8	117,9	133,8	117,1	78,0	45,2	22,7	15,7	<b>787,5</b>
<b>ZAMBRANA</b>	18,2	27,3	52,6	65,6	91,7	113,0	128,9	116,7	82,0	46,0	24,2	16,0	<b>782,2</b>
<b>LAGUARDIA</b>	29,5	41,4	73,1	97,5	132,4	159,6	183,6	159,8	110,9	69,3	37,0	27,8	<b>1121,8</b>
<b>SALVATIERRA</b>	14,9	18,7	35,2	47,1	68,8	82,1	92,0	84,1	59,8	34,3	16,9	11,1	<b>564,9</b>
<b>TREVIÑO</b>	13,9	19,1	34,4	45,0	64,5	76,1	84,9	77,9	56,3	33,5	17,7	12,4	<b>625,6</b>
<b>ALSASUA</b>	20,4	28,5	55,3	68,3	100,1	115,6	132,7	117,5	80,0	48,1	25,9	18,1	<b>810,4</b>
<b>VIANA</b>	23,5	35,4	71,6	86,7	126,4	152,1	176,8	154,7	100,3	60,1	32,6	22,3	<b>1042,5</b>
<b>MIRANDA DE EBRO</b>	18,1	27,3	53,1	68,6	85,6	115,8	132,1	119,0	82,1	47,2	23,2	16,0	<b>788,1</b>

#### 3.2.2.2 Penman-Monteith

Este método de cálculo es el que recomienda FAO para determinar la ET<sub>o</sub> en cualquier rincón del planeta, ya que se considera el más preciso. El inconveniente que presenta este método es que es muy exigente en datos meteorológicos, ya que requiere de lecturas diarias de variables que no disponemos como son la velocidad media del viento o la humedad relativa media diaria. La ecuación de Penman-Monteith es la siguiente:

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right)$$

Donde:

**ET<sub>o</sub>**: evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>).

**I**: calor latente de vaporización (MJ kg<sup>-1</sup>), epígrafe 1.5, fórmula (34).

**D**: pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor con la temperatura del aire (kPa °C<sup>-1</sup>)

**R<sub>n</sub>**: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

**G**: flujo térmico del suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

**ρ<sub>a</sub>**: densidad del aire seco a presión constante (kg m<sup>-3</sup>)

**c<sub>p</sub>**: calor específico del aire (MJ kg<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>)

**(e<sub>s</sub> – e<sub>a</sub>)**: déficit de presión de vapor (kPa)

**g**: constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>),

**r<sub>s</sub>** y **r<sub>a</sub>**: resistencia superficial del cultivo de referencia y aerodinámica (s m<sup>-1</sup>)

Puesto que esta metodología de cálculo se utiliza como referencia en todo el mundo vamos a extrapolar los resultados obtenidos mediante la ecuación de Hargreaves-Samani a este método. Para ello es necesario hacer un análisis de regresión entre datos de ETo mensual calculados por ambos métodos como se indica en el Anexo 1. Éste trabajo ya lo había realizado previamente los laboratorios Neiker para cuatro estaciones de Álava situadas en cuatro puntos distintos de la provincia de la forma más representativa posible. Este análisis de regresión consistió en coger los datos de algunas de las estaciones automáticas instaladas en Álava a partir de 2003 y calcular la ETo por ambos métodos. Después hacer un análisis de regresión enfrentando los resultados obtenidos por las dos ecuaciones, comprobar que la correlación (R<sup>2</sup>) entre los éstos es buena, y finalmente, obtener los coeficientes de la recta de regresión que relaciona ambos métodos. Este proceso lo realizó Neiker en las estaciones de Arcaute, Zambrana, Navarrete y Subijana, obteniendo los siguientes resultados:

ARCAUTE			SALVATIERRA			NAVARRETE			ZAMBRANA		
b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>
0,75	-0,1	0,88	0,8	-0,1	0,87	0,8	-0,1	0,89	0,75	0,12	0,81

La fórmula empleada para la calibración es la siguiente:

$$E_{PM56} = a + bE_{Model}$$

Siendo:

**E<sub>PM56</sub>**: ETo calculada por el método de Penman–Monteith

**E<sub>Model</sub>**: ETo calculada por el método de Hargreaves-Samani

**a y b**: coeficientes de la recta de regresión

Con estas estaciones cuatro estaciones mencionadas anteriormente realizaremos la calibración de restantes, agrupándolas de la siguiente forma:

- ❖ **Arcaute:** Amurrio, Arcaute.
- ❖ **Zambrana:** Miranda de Ebro, Laguardia, Viana. y Zambrana
- ❖ **Navarrete.** Campezo y Treviño.
- ❖ **Salvatierra:** Alsasua y Salvatierra.

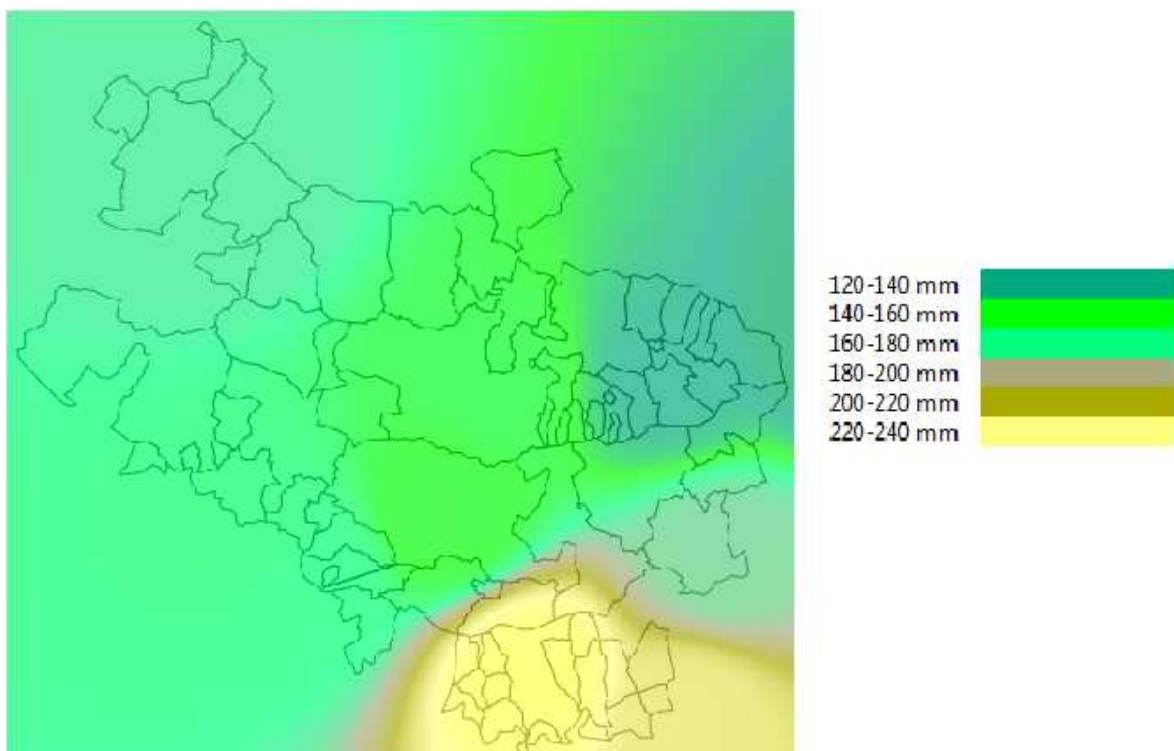
Aplicando la regresión con los coeficientes correspondientes a cada zona podemos deducir los valores de ETo calculados por el método de Penman–Monteith, que quedarían de la siguiente manera:

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	SUMA
<b>ARCAUTE</b>	12,4	17,7	34,7	44,8	65,8	80,3	87,3	80,7	58,0	33,9	17,6	10,9	544,2
<b>AMURRIO</b>	16,0	22,0	39,7	52,4	72,3	82,8	89,6	80,9	59,0	34,3	19,2	14,3	582,4
<b>LAGUARDIA</b>	22,3	31,1	54,9	73,2	99,4	119,8	137,8	120,0	83,3	52,1	27,9	21,0	842,8
<b>ZAMBRANA</b>	13,8	20,6	39,6	49,3	68,9	84,9	96,8	87,7	61,6	34,6	18,3	12,1	588,1
<b>VIANA</b>	17,8	26,7	53,8	65,2	94,9	114,2	132,7	116,1	75,3	45,2	24,5	16,8	783,3
<b>MIRANDA DE EBRO</b>	13,7	20,6	39,9	51,6	64,3	87,0	99,2	89,4	61,7	35,5	17,5	12,1	592,5
<b>SALVATIERRA</b>	11,8	14,9	28,0	37,6	54,9	65,6	73,5	67,2	47,8	27,3	13,4	8,8	450,8
<b>ALSASUA</b>	11,0	15,2	27,4	35,9	51,5	60,8	67,8	62,2	44,9	26,7	14,0	9,8	427,2
<b>CAMPEZO</b>	14	21	40	53	77,4	94,2	107	93,6	62,3	36	18	12	628,8
<b>TREVIÑO</b>	11	15	27	36	51,5	60,8	67,8	62,2	44,9	27	14	9,8	487,2

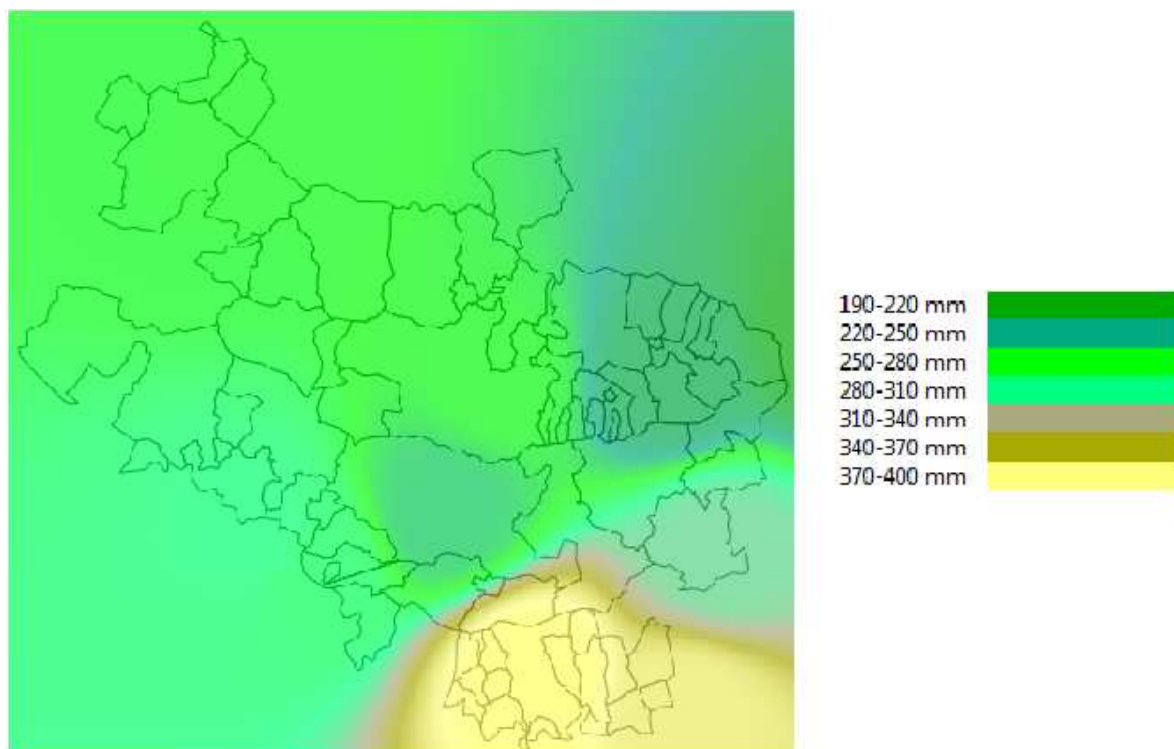
### 3.2.2.3 Mapas de ETo

Una vez obtenidos los valores de evapotranspiración de referencia mensuales por el método de Penman-Monteith, para poder visualizar mejor los resultados obtenidos, se van a representar estos resultados por estaciones. A continuación se muestran los mapas ráster con los datos de ETo de primavera, verano, otoño e invierno, para un año medio:

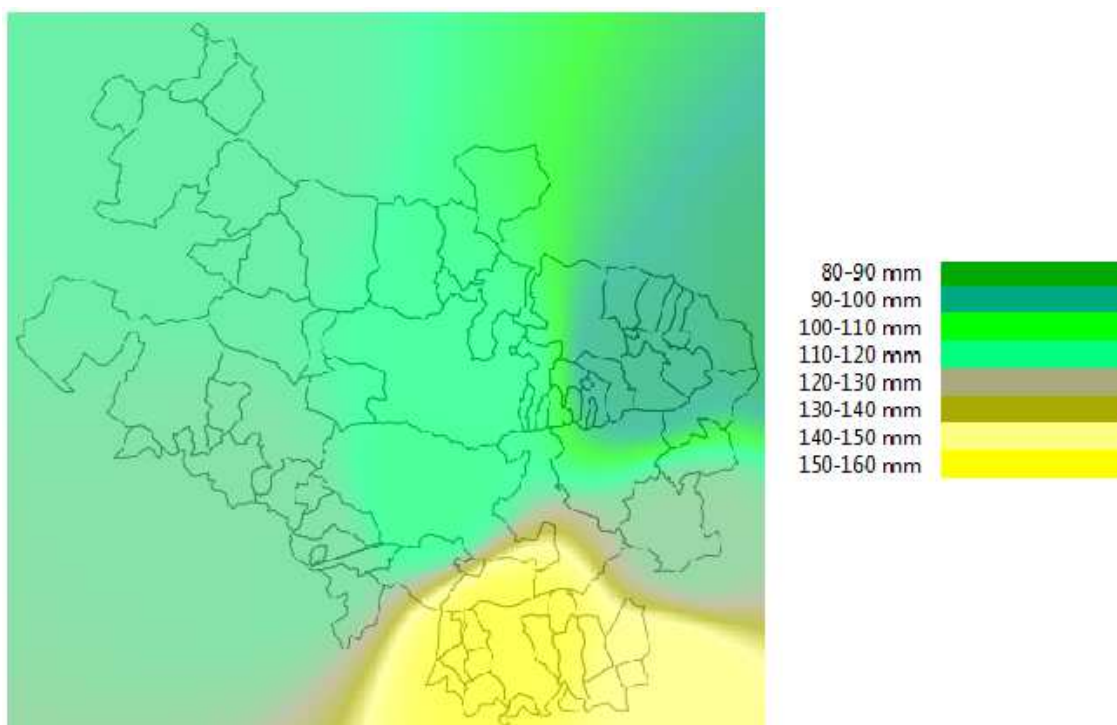
### ❖ ETo media PRIMAVERA



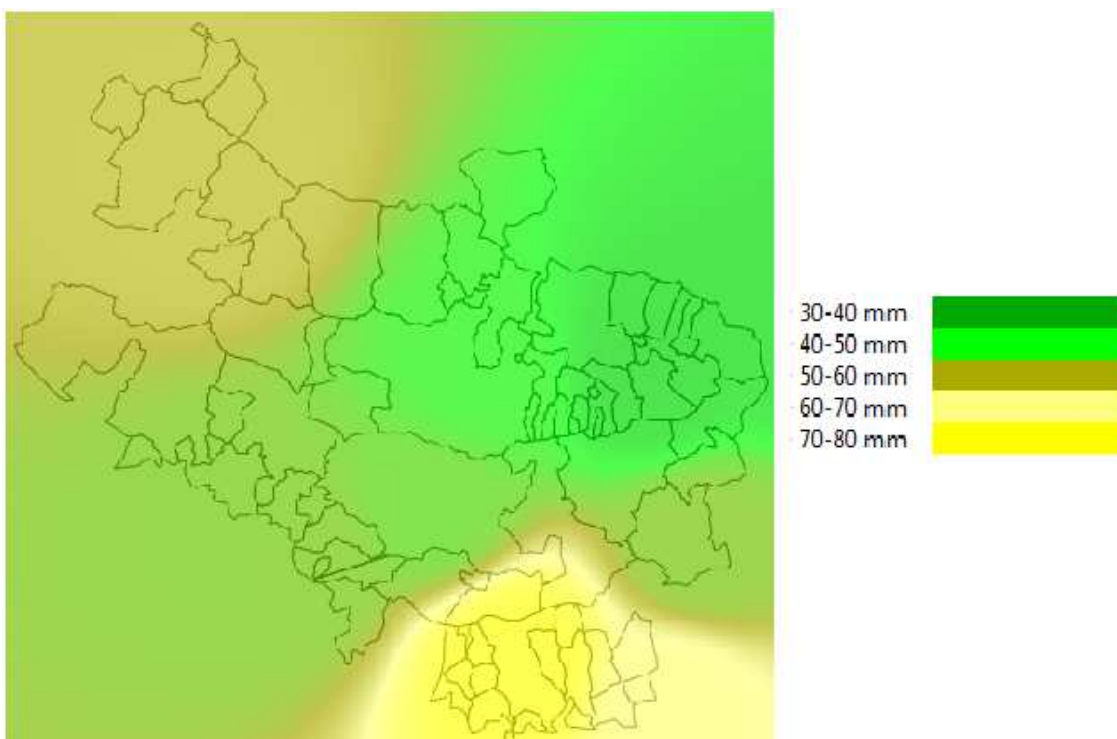
### ❖ ETo media VERANO



### ❖ ETo media OTOÑO



### ❖ ETo media INVIERNO



### 3.3 ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE RIEGO

#### 3.3.1 INTRODUCCIÓN

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento. La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración.

Por lo tanto, el agua evapotranspirada debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico. Diversas metodologías se han propuesto para su determinación, debiendo considerarse siempre que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo.

Las necesidades de riego de los cultivos ( $R_n$ ) o necesidades netas, se define como la suma de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) menos la precipitación efectiva ( $P_e$ ):  
 $R_n = ET_c - P_e$

Los métodos de cálculo de la  $ET_c$ , se dividen en directos e indirectos. Los métodos directos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas, para lo que se utilizan aparatos e instrumentos en su determinación. Mientras que los métodos indirectos proporcionan un valor estimado del agua requerida a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la aplicación de fórmulas empíricas basadas en datos climáticos. La  $ET_c$  puede determinarse a partir de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), según la expresión:  $ET_c = ET_o \cdot K_c$ . Donde  $K_c$ , es un coeficiente de cultivo adimensional que varía según el cultivo y su desarrollo vegetativo. Las unidades comunes de medida de  $ET_c$  y  $ET_o$  son mm/día, mm/mes o mm/temporada.

#### 3.3.2 BALANCE HÍDRICO

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua y es de aplicación para las clasificaciones climáticas, definir la hidrología de una zona y para la planificación

hidráulica. En este apartado abordaremos el método de estimación del balance hídrico directo y exponencial. En el método directo el agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración). En el método exponencial, la reserva de humedad del suelo se va agotando exponencialmente, la pérdida de agua durante el período seco se ajusta a una exponencial negativa de manera que cuanto más seco está el suelo más difícil es extraer el agua y, por tanto, más difícil es llegar a la evapotranspiración.

## **METODO DIRECTO**

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm):

- P: precipitación media o mediana mensual
- ET: evapotranspiración (potencial o de referencia)
- P-ET: diferencia entre la P y la ET
- R: reserva
- VR: variación de la reserva
- ETR: evapotranspiración real
- F: falta
- Ex: exceso
- D: drenaje

A continuación analizaremos los diferentes parámetros.

### **- P-ET**

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. La diferencia nos clasifica los meses en secos ( $P-ET < 0$ ) y en húmedos ( $P-ET > 0$ ) según las entradas superen o no a las salidas potenciales.

### **- R, reserva del suelo**

Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, ( $P > ET$ ) el agua sobrante pasará a engrosar la reserva del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo. Sin embargo, el suelo tiene una capacidad de retención de humedad en función de sus características físicas y cuando se alcance la capacidad de retención máxima del suelo, el agua añadida "en exceso" escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto debemos exponer el concepto de reserva máxima o cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. Como referencia climática se toma una reserva máxima de 100 mm. El valor se toma como referencia climática para comparaciones entre distintas zonas (independientemente del suelo y vegetación). Thornthwaite y Mather, 1955, dieron valores de reserva máxima entre 50 y 400; por otro lado Thornthwaite, 1948, en su clasificación climática utilizó como referencia climática la reserva de 100 mm, y Turc en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm (RFU = "reserva fácilmente utilizable").



Si queremos modelizar la realidad, desde un punto de vista edafológico, o para regadío, podemos calcular para cada horizonte del suelo (y para la suma de todos hasta la profundidad efectiva del perfil edáfico) la capacidad para retener agua como diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y en el punto de marchitamiento o estimarlo en función de las respectivas texturas. Si consideramos también la vegetación, la profundidad del suelo donde tienen lugar las pérdidas por evapotranspiración viene definida por la profundidad del sistema radicular de la vegetación y, por tanto, la reserva máxima será la capacidad del suelo para retener agua hasta esa profundidad.

En el balance hídrico, la reserva del mes se calcula agregando los incrementos (P-ET) cuando estos son positivos. Así la reserva en el mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1"),  $R_i$ , será:

- $R_{i-1} + (P_i - ET_i)$  si  $0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{\text{máx}}$
- $R_{\text{máx}}$  si  $R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{\text{máx}}$
- 0 si  $0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i)$

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo, según los incrementos  $P-ET > 0$ , y disminuirán al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales  $P-ET < 0$ . Como hemos visto, la reserva nunca tendrá como valor uno mayor que la reserva máxima, ni un número negativo.

Como se aprecia en la fórmula, necesitamos la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, asignamos un valor hipotético a un mes y realizamos ciclos anuales de cálculo (aunque el cuadro del balance hídrico tenga un mes inicial y otro final) hasta que la hipótesis de que partimos se confirme al final del ciclo. A efectos de cálculo, se suele suponer que después del período seco la reserva del suelo es nula, en consecuencia se empieza el cálculo de "R" con el primer mes húmedo y se asigna al mes anterior una reserva nula. Si tras los cálculos al final del período seco quedase agua en el suelo, se deberán recalcular las reservas agregando la reserva existente al final del período seco a las reservas del período húmedo. Si de nuevo se modificase la reserva del último mes seco se volvería a calcular otra vez la reserva.

Si todos los meses son húmedos podemos utilizar los supuestos anteriores, pero en todo caso llegaremos a que la reserva es igual a la reserva máxima para todos los meses. Por el contrario, si todos los meses son secos la reserva será nula en todos los meses.

#### **- VR: variación de la reserva**

Es la diferencia entre la reserva del mes en el que estamos realizando el cálculo y la reserva del mes anterior:  $VR_i = R_i - R_{i-1}$



### **- ETR: evapotranspiración real**

Aunque según el clima habrá una capacidad potencial de evapotranspirar la evapotranspiración potencial, sólo se podrá evapotranspirar tal cantidad si hay agua disponible. La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ET potencial o de referencia o no (por tanto, la  $ET_o$  es siempre mayor o igual a la ETR). El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la existente en la reserva del suelo.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET real es igual a la potencial; es decir,  $ETR_i = ET_i$ .

En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación más la que extraemos del suelo o variación de la reserva (la reserva que nos queda menos la que teníamos el mes anterior, como tendrá signo negativo se toma el valor absoluto); es decir:  $ETR_i = P_i + VR_i$  Como se va a aportar riego durante la época de déficit hídrico no se va a tener en cuenta este componente a la hora de realizar el balance.

### **- F: falta de agua**

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar). Por tanto, la falta de agua es:  $F_i = ET_i - ETR_i$

### **- Ex: exceso de agua**

Es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda. Por tanto:

$$\begin{aligned} Ex_i &= [P_i - ET_i - VR_i] \quad \text{si } (P_i - ET_i) > 0 \\ Ex_i &= 0 \quad \text{si } (P_i - ET_i) \leq 0 \end{aligned}$$

Como es lógico sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ET, es decir, en los meses húmedos.

### **- D: desagüe**

El exceso de agua se dirigirá hacia los niveles de aguas freáticas y los ríos. Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes se escurre hacia los ríos durante el mes en cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profundas. Así tenemos:  $D_i = 0,5 \cdot [D_{i-1} + Ex_i]$

### **- Rn: necesidades de riego**

Son las requerimientos netos de agua que son necesarios para que la reserva de agua del suelo sea 100 mm es decir:  $Rn = 100 - R$

A continuación se realiza el balance hídrico mediante el método directo, con la ETo según Penman–Monteith y una reserva máxima de 100 mm para un año medio (P y ETo medias), en los lugares donde se disponen datos de precipitación y ETo.

El objetivo del riego debe ser mantener el suelo en la reserva máxima para que el cultivo disponga en todo momento de agua fácilmente utilizable. Para ello debemos aportar agua durante los meses en los que la reserva es menor de 100 mm. Como ya hemos dicho, puesto que suponemos que el suelo va a estar en todo momento en niveles cercanos a la Rmax el valor de la evapotranspiración real (ETR) será siempre similar al de la evapotranspiración de referencia (ETo), por lo que no tiene sentido el concepto de ETR en este caso. Además no se tendrán en cuenta los componentes de falta de agua (F), exceso de agua (Ex) y desagüe (D), ya que son superfluos a la hora de estimar las necesidades de riego. Y como se ha comprobado que al menos el último día de abril todos los suelos de la provincia de Álava están en la reserva máxima, para simplificar el balance lo que haremos será aportar la diferencia entre P y ETo en aquellos meses en los que esta sea negativa

De esta forma se van a realizar los balances hídricos y se van a estimar las necesidades de aportación de riego en varios puntos de la provincia de Álava y alrededores, y, a partir de estos valores, se van a diseñar mapas de requerimientos netos de riego.

A continuación se muestran los balances hídricos realizados para un año medio en diferentes lugares:

ARCAUTE	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	69,6	54,4	60,2	74,1	71,2	53,4	31,8	36,1	47,6	72,2	86,5	91,4
<b>Eto</b>	12,4	17,7	34,7	44,8	65,8	80,3	87,3	80,7	58,0	33,9	17,6	10,9
<b>P - Eto</b>	57,2	36,7	25,5	29,3	5,4	-26,9	-55,5	-44,6	-10,4	38,3	68,9	80,5
<b>Rn</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>56</b>	<b>45</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

AMURRIO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	113,4	93,3	97,1	120,6	95,5	66,0	51,0	63,5	59,2	106,9	127,2	104,7
<b>Eto</b>	16,0	22,0	39,7	52,4	72,3	82,8	89,6	80,9	59,0	34,3	19,2	14,3
<b>P - Eto</b>	97,5	71,3	57,4	68,2	23,2	-16,8	-38,6	-17,4	0,2	72,6	108,0	90,4
<b>Rn</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>39</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

CAMPEZO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	72,3	62,6	64,0	81,7	67,1	49,8	36,6	26,0	41,7	70,9	95,0	93,1
<b>Eto</b>	13,9	20,5	40,5	53,1	77,4	94,2	106,9	93,6	62,3	36,1	18,1	12,4
<b>P - Eto</b>	58,4	42,1	23,5	28,6	-10,3	-44,4	-70,4	-67,6	-20,6	34,9	76,9	80,6
<b>Rn</b>	0	0	0	0	10	44	70	68	21	0	0	0

ZAMBRANA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	53,0	40,5	39,2	64,6	65,4	44,5	32,1	29,7	39,3	45,5	53,4	49,7
<b>Eto</b>	13,8	20,6	39,6	49,3	68,9	84,9	96,8	87,7	61,6	34,6	18,3	12,1
<b>P - Eto</b>	39,2	19,8	-0,4	15,3	-3,5	-40,3	-64,7	-58,0	-22,4	10,9	35,1	37,6
<b>Rn</b>	0	0	0	0	4	40	65	58	22	0	0	0

ALSASUA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	129,8	110,6	112,5	125,9	108,8	65,9	40,3	39,8	69,0	108,0	156,5	140,0
<b>Eto</b>	11,0	15,2	27,4	35,9	51,5	60,8	67,8	62,2	44,9	26,7	14,0	9,8
<b>P - Eto</b>	118,8	95,4	85,1	90,0	57,3	5,1	-27,5	-22,4	24,1	81,3	142,5	130,2
<b>Rn</b>	0	0	0	0	0	0	28	22	0	0	0	0

VIANA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	37,0	28,4	31,5	49,6	43,8	46,7	28,0	19,3	31,1	41,3	47,3	43,3
<b>Eto</b>	17,8	26,7	53,8	65,2	94,9	114,2	132,7	116,1	75,3	45,2	24,5	16,8
<b>P - Eto</b>	19,3	1,7	-22,3	-15,6	-51,2	-67,5	-104,7	-96,8	-44,2	-3,9	22,8	26,5
<b>Rn</b>	0	0	0	0	51	67	105	97	44	4	0	0

### 3.3.2.1 Balance hídrico: año extremo

Para poder diseñar dimensionar los elementos que conforman una instalación completa de regadío (acequias, tuberías, balsas, bombas, filtros...) convendría ponerse en el peor de los casos; es decir, que se dé un año en el que la precipitación sea mínima y la evapotranspiración lo más alta posible. Entonces llegaríamos a saber las necesidades de agua máximas por unidad de superficie que se requerirían en cada zona de Álava para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Con este propósito se van a realizar los balances hídricos en estos mismos lugares para cuantificar estas necesidades mensuales de la misma forma que en apartado anterior. Esta vez no se van a representar los datos en mapas, sino que van a quedar en forma de tabla y se va a utilizar a modo de consulta y para comparar.

AMURRIO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	3,2	14	15,4	0	15,7	8	5,5	7,7	0	9,9	16,5	2,4
<b>Eto</b>	22,4	34,1	55,2	74,7	99,9	113,7	120,5	102,6	80,0	50,5	27,0	22,9
<b>P-Eto</b>	-19,2	-20,1	-39,8	-74,7	-84,2	-105,7	-115,0	-94,9	-80,0	-40,6	-10,5	-20,5
<b>Rn</b>	19	20	40	75	84	106	115	95	80	41	11	21

ARCAUTE	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	0	0	0	14,2	17,6	6,9	0	2,5	0,5	5	17,1	6
<b>Eto</b>	16,5	27,9	56,6	63,5	86,8	103,1	119,9	107,0	81,1	55,5	27,3	16,7
<b>P-Eto</b>	-16,5	-27,9	-56,6	-49,3	-69,2	-96,2	-119,9	-104,5	-80,6	-50,5	-10,2	-10,7
<b>Rn</b>	17	28	657	49	69	96	120	105	81	50	10	11

CAMPEZO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	1,5	5,5	5	13,2	12,9	0	0	2,5	0	6	11	3
<b>Eto</b>	23,6	30,2	56,2	81,8	118,8	131,7	132,3	123,9	89,8	53,7	27,6	18,5
<b>P-Eto</b>	-22,1	-24,7	-51,2	-68,6	-105,9	-131,7	-132,3	-121,4	-89,8	-47,7	-16,6	-15,5
<b>Rn</b>	22	25	51	69	106	132	132	121	90	8	17	16

ZAMBRANA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	0	6	6,8	6,7	17,3	2,5	0	0	0	0,3	0	0
<b>Eto</b>	18,0	29,8	53,4	68,6	92,7	115,5	122,1	112,9	77,5	45,4	28,1	18,0
<b>P-Eto</b>	-18,0	-23,8	-46,6	-61,9	-75,4	-113,0	-122,1	-112,9	-77,5	-45,1	-28,1	-18,0
<b>Rn</b>	18	24	47	62	75	113	122	113	78	45	28	18

ALSASUA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	6,4	22,8	30,1	59,7	20,5	9,7	2,2	5,3	0	13,6	30	16,1
<b>Eto</b>	22,7	34,3	61,6	75,4	98,4	124,2	127,6	113,4	80,4	55,0	26,6	22,8
<b>P-Eto</b>	-16,3	-11,5	-31,5	-15,7	-77,9	-114,5	-125,4	-108,1	-80,4	-41,4	3,4	-6,7
<b>Rn</b>	16	12	32	16	78	115	125	108	80	41	0	7

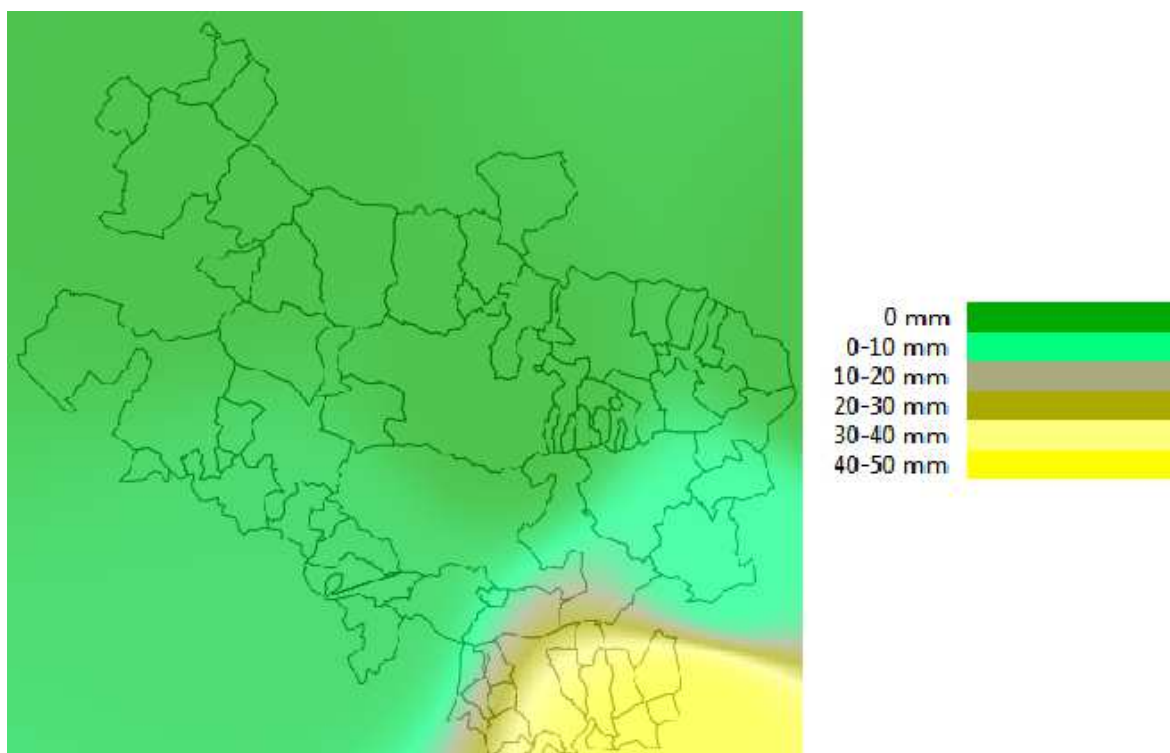
VIANA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P</b>	0	1,5	0,5	12,6	11	1,3	0	0	0	5,2	7,2	0,5
<b>Eto</b>	22,7	35,2	63,8	80,5	108,9	133,6	148,1	128,9	91,8	57,6	31,5	21,1
<b>P-Eto</b>	-22,7	-33,7	-63,3	-67,9	-97,9	-132,3	-148,1	-128,9	-91,8	-52,4	-24,3	-20,6
<b>Rn</b>	23	34	63	68	98	132	148	129	92	52	24	21

### 3.3.3 MAPAS DE NECESIDADES DE RIEGO: AÑO MEDIO

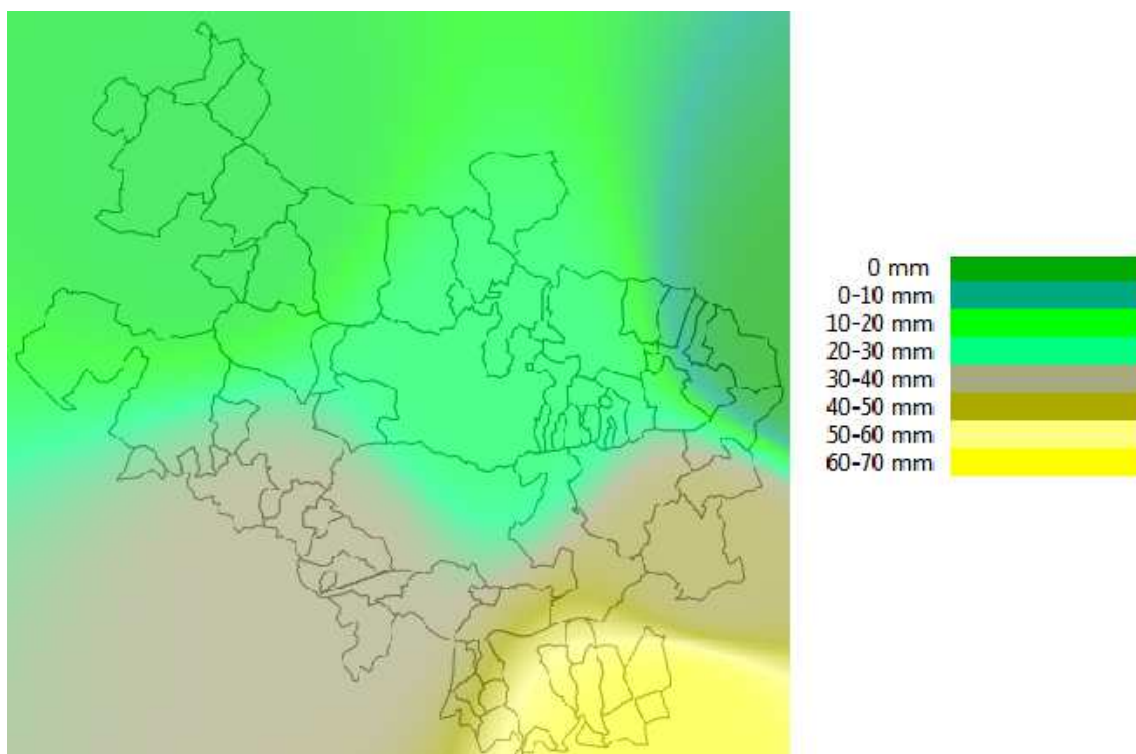
En este apartado se van a representar las necesidades de riego netas por unidad de superficie durante un año con condiciones meteorológicas medias para el cultivo de referencia: pradera de bajo porte (7-15 cm), que cubre completamente el suelo y no sufre limitación de agua. El objetivo de esta representación es tener una idea de cuáles serían las necesidades de aportes de agua de los cultivos en toda la provincia de Álava durante un año medio. Estos resultados se representan mediante valores mensuales, si bien es cierto que las recomendaciones de riego se realizan semanalmente, no se pueden realizar de esta manera ya que los parámetros climáticos que disponemos son de carácter mensual. Bastaría con dividir entre 4 estos valores para hacernos una idea de cuáles pueden ser las necesidades mensuales.

Dicho esto, a continuación se muestran 5 mapas donde se representan los requerimientos de aportes hídricos durante los meses en los que existe esa necesidad:

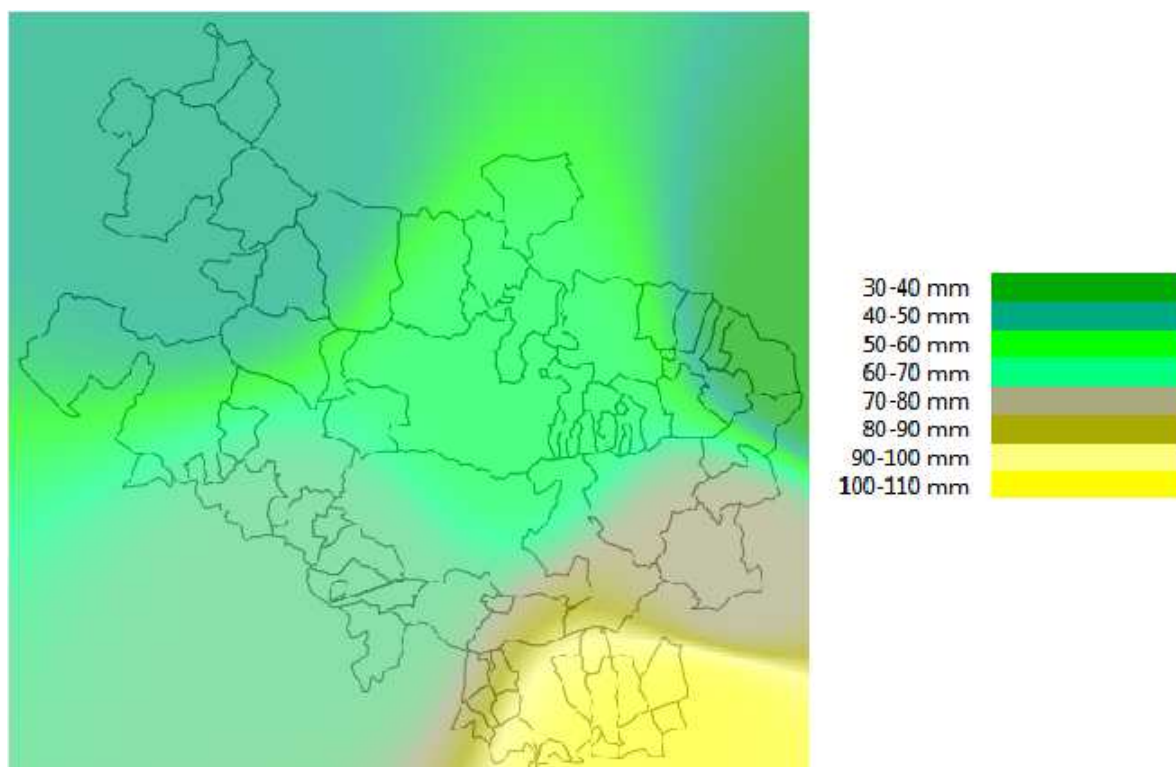
#### ❖ Necesidades de riego MAYO



### ❖ Necesidades de riego JUNIO

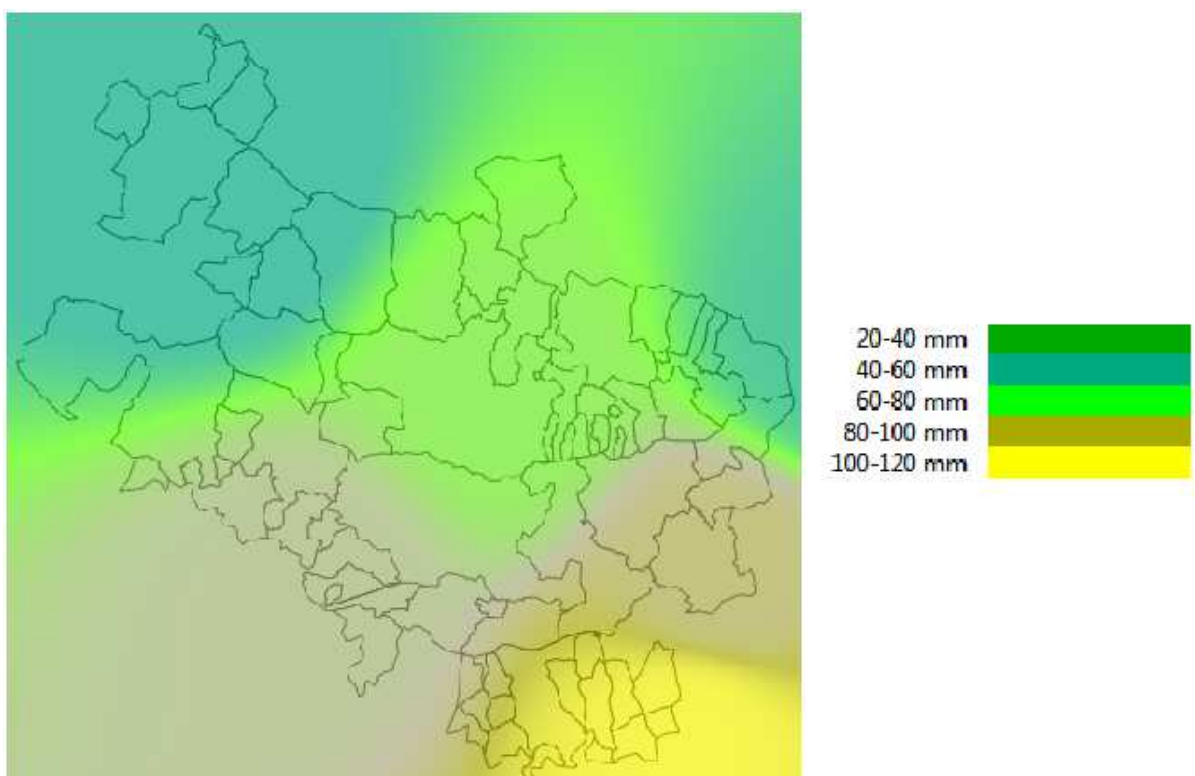


### ❖ Necesidades de riego JULIO

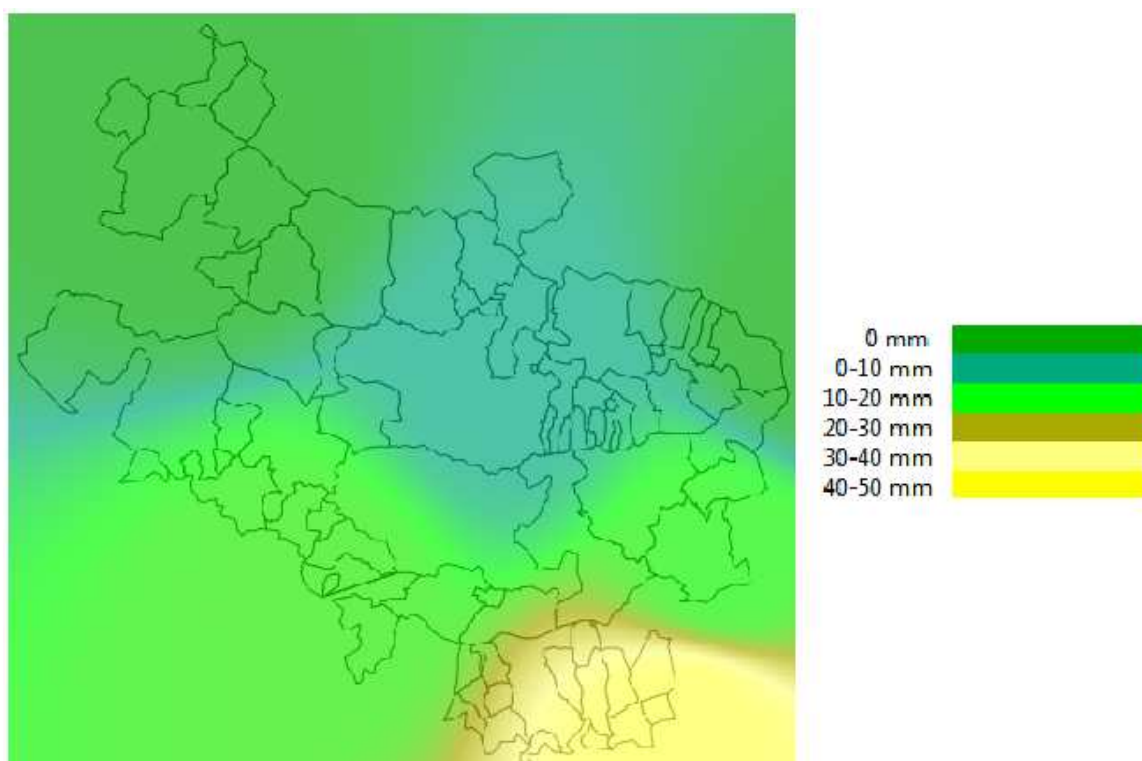




### ❖ Necesidades de riego AGOSTO



### ❖ Necesidades de riego SEPTIEMBRE



# 4. CONCLUSIONES

---



La realización de este Trabajo Final de Carrera titulado “*Aplicación de modelos de generación de variables meteorológicas para la gestión del riego en la provincia de Álava*” ha servido para obtener diversas conclusiones, las cuales se exponen a continuación.

En primer lugar trataremos lo relativo al generador climático LARS-WG. Una vez realizado el trabajo se puede afirmar que es un modelo apto para este tipo de estudios climáticos, ya que ofrece muchos parámetros y no presenta problemas de correlación entre datos observados y generados. La primera alegación la podemos confirmar en el Anexo 4, donde vemos los parámetros mensuales que es capaz de calcular. En cuanto a la correlación que ofrece entre los datos observados y generados, está comprobado que no presenta ningún problema de correlación en cada uno de los test de bondad de ajuste que realiza (uno por cada estación meteorológica). Aparte que no deja generar series sintéticas si no se cumplen todas las comprobaciones que realiza, al revisarlas en los archivos \*.tst que genera siempre se cumplen las correlaciones entre las series observadas y las generadas. Un ejemplo de ello lo tenemos en el Anexo 5 del presente trabajo.

Como inconvenientes a la hora de manejar y comprender el funcionamiento de LARS-WG podemos afirmar que es un modelo un tanto opaco, debido a que, no podemos averiguar de qué modo genera las series sintéticas ya que, al utilizar distribuciones semi-empíricas, no es capaz de definir esas distribuciones como hacen otros programas similares. Esto le podría restar credibilidad, pero los estudios y comparaciones realizadas con modelos de este tipo demuestran que los resultados que ofrece están totalmente ratificados.

En segundo lugar vamos a analizar y comentar los resultados que ofrece LARS-WG. Como ya hemos dicho calcula únicamente parámetros climáticos mensuales, por lo que sólo podemos calcular variables a escala mensual. Este aspecto que presenta este programa puede ser un inconveniente si lo queremos utilizar para la programación de riegos, ya que, al no dejar la posibilidad de presentar parámetros semanales, no se puede hacer una programación a escala semanal, que es la frecuencia con la que se programan o se hacen las recomendaciones de riego.

Visto este inconveniente, como lo que queremos hacer es una estimación para unas condiciones climáticas medias, y no una programación propiamente dicha, se puede afirmar que LARS-WG es un modelo útil para realizar una aproximación de las necesidades de riego de los cultivos.

En cuanto a los resultados de los datos climáticos que hemos obtenido para la provincia de Álava con ayuda del programa, cabe destacar:

1. La estación en la que se recoge mayor cantidad de precipitación en casi todos los puntos de Álava es el invierno (diciembre, enero y febrero), explicando alrededor del 30 % de la precipitación anual, si bien el mes más lluvioso es casi siempre noviembre. Además las precipitaciones se distribuyen de una forma muy similar durante el otoño y la primavera, recogiendo en ambas más o menos el 25 % de la lluvia total. En cuanto a los meses de mayo, junio y julio destacar que no son excesivamente secos.
2. Pese a ser el invierno la estación que registra mayor cantidad de precipitaciones es también la que mayor duración presenta en los eventos no lluviosos después del verano. Este hecho indica sequías invernales con relativa frecuencia, sobre todo en zona oeste y suroeste de la provincia.
3. Excepto en el sur, donde las temperaturas veraniegas son moderadamente elevadas, la ETo se distribuye con cierta homogeneidad, presentando los valores máximos durante el mes de julio en todos los puntos.
4. En cuanto al riego, se hace necesario en toda la provincia a partir de junio (en mayo sólo en el sur) y deja de serlo al finalizar septiembre (en la zona norte en agosto). Los requerimientos máximos se localizan en el mes de julio y la cantidad a aportar se eleva hasta los 100 mm en zonas de la Rioja alavesa

Finalmente decir que LARS-WG puede ser una herramienta muy válida a la hora de realizar cualquier tipo de análisis climático y que, no se ha podido realizar la representación espacial de los resultados con mayor precisión debido a que la red de estaciones manuales instaladas en el País Vasco es muy reciente, y sólo se ha contado con lecturas de estaciones manuales. Que no eran tantas como hubiéramos querido.

# 5. BIBLIOGRAFÍA

---

Mikhail A. Semenov, Roger J. Brooks, Elaine M. Barrow. Richardson (1998). **Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates.** CLIMATE RESEARCH. Vol. 10: 95–107,

D. S. Wilks, R. L. Wilby (1999). **The weather generation game: a review of stochastic weather models.** Progress in Physical Geography 23: 329-357.

F. Castellvi, C. O. StAckle (2001). **Comparing the performance of wgen and climgen in the generation of temperature and solar radiation.** Transactions of the ASABE. Vol. 44 (6): 183-187.

Chuck Meyer. **General Description of the CLIGEN Model and its History.** USDA-ARS National Soil Erosion Laboratory West Lafayette, IN

Mikhail A. Semenov, Roger J. Brooks. **Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain.** IACR-Long Ashton Research Station, Department of Agricultural Sciences, University of Bristol, Long Ashton, United Kingdom

Magnus L. Sorensen (2008). **Agricultural water management research trends.** Nova Science Publishers, Inc.

Fernando Luis Martínez (2005). **Generadores de tiempo basados en redes neuronales.** Departamento de Computación Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires

Hashmi, M.Z. 1, A.Y. Shamseldin, B.W. Melville (2009). **Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach.** Department of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering, The University of Auckland, New Zealand.

Budong Qian, Samuel Gameda, Henry Hayhoe (2008). **Performance of stochastic weather generators LARS-WG and AAFC-WG for reproducing daily extremes of diverse Canadian climates.** CLIMATE RESEARCH Vol. 37: 17–33, 2008

Mikhail A. Semenov, Elaine M. Barrow (1997). **Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios.** Climatic Change 35: 397–414, 1997. Kluwer Academic Publishers.

Afshin Soltani<sup>1</sup>, Gerrit Hoogenboom (2003). **A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO**. CLIMATE RESEARCH Vol. 24: 215–230, 2003

Henry N. Hayhoe (2000). **Improvements of stochastic weather data generators for diverse climates**. CLIMATE RESEARCH Vol. 14: 75–87, 2000

Afshin Soltani<sup>1</sup>, Gerrit Hoogenboom (2003). **Minimum data requirements for parameter estimation of stochastic weather generators**. CLIMATE RESEARCH Vol. 25: 109–119, 2003

Y. Kim, R. W. Katz, B. Rajagopalan, G. P. Podestá E. M. Furrer (2012). **Reducing overdispersion in stochastic weather generators using a generalized linear modeling approach**. CLIMATE RESEARCH Vol. 53: 13–24, 2012

João Corte-Real, Hong Xu, Budong Qian (1999). **A weather generator for obtaining daily precipitation scenarios based on circulation patterns**. CLIMATE RESEARCH Vol. 13: 61–75, 1999

Sascha Schubert (1994). **A weather generator based on the European “Grosswetterlagen”**. CLIMATE RESEARCH Vol. 4: 191–202, 1994

Justin T. Schoof, Scott M. Robeson (2003). **Seasonal and spatial variations of cross-correlation matrices used by stochastic weather generators**. CLIMATE RESEARCH Vol. 24: 95–102, 2003

Mikhail A. Semenov, Elaine M. Barrow (2002). **LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**. User Manual.

Santiago Beguería, Sergio M. Vicente-Serrano, J. Ignacio López-Moreno. **Distribución espacial y estacional de los eventos de precipitación en la rioja: intensidad magnitud y duración**. Zubía Monográfico 20 169-186 Logroño 2008

Naciones Unidas comisión económica para América latina y el Caribe – Cepal. **Los recursos hídricos y la agricultura en el istmo centroamericano** LC/MEX/L.658 22 de abril de 2005

Mikhail A. Semenov. **Impacts of climate change on wheat in England and Wales.** J. R. Soc. Interface (2009) 6, 343–350. Published online 5 August 2008

Mikhail A. Semenov, Pierre Stratonovitch. **Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts.** Centre for Mathematical and Computational Biology. CLIMATE RESEARCH Vol. 41: 1–14, 2010.

Edgar Zuniga. **Evaluacion de un modelo predictivo de lluvias en Costa Rica.** Agronomia Costarricense 17(1): 49-54.1993

Lelys Guenni, Edgard Degryze, Katiuska Alvarado. **Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela.** Revista Colombiana de Estadística Junio 2008, volumen 31, no. 1, pp. 41 a 65

Fernando Luis Martínez. **Generadores de tiempo basados en redes neuronales.** Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Computación. Diciembre de 2005

Karl Vanderlinden. **Análisis de procesos hidrológicos a diferentes escalas espacio-temporales.** Universidad de Córdoba Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Departamento de Agronomía. Tesis Doctoral. Córdoba, Noviembre de 2001

Magnus L. Sorensen. **Agricultural water management research trends.** Nova Science Publishers, New York 2008

Federico E. Bert, Guillermo P. Podestá, Balaji Rajagopalan, Somkiat Apipattanavis. **Uso de modelos agronómicos de simulación para evaluar un método semi-paramétrico de generación de series climáticas sintéticas.** (2005) Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, Boulder, USA.

Henry N. Hayhoe. **Improvements of stochastic weather data generators for diverse climates.** CLIMATE RESEARCH. Vol. 14: 75–87, 2000

Y. Kim, R. W. Katz, B. Rajagopalan, G. P. Podestá, E. M. Furrer. **Reducing overdispersion in stochastic weather generators using a generalized linear modeling approach.** CLIMATE RESEARCH. Vol. 53: 13–24, 2012

João Corte-Real, Hong Xu, Budong Qian. **A weather generator for obtaining daily precipitation scenarios based on circulation patterns.** CLIMATE RESEARCH. Vol. 13: 61–75, 1999

Sascha Schubert. **A weather generator based on the European 'Grosswetterlagen'.** CLIMATE RESEARCH. Vol. 4: 191-202,1994

Hipólito Medrano, Josefi na Bota, Josep Cifre, Jaume Flexas, Miquel Ribas-Carbó y Javier Gulías. **Eficiencia en el uso del agua por las plantas.** Investigaciones Geográficas, nº 43 (2007) pp. 63-84

Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, <http://rcci.net/globalizacion/2010/fg1008.htm>

Ciencia y nuevas metodologías. <file:///E:/articulos%20wg/CIOMTA.htm>

AGRO.DATA. <file:///E:/articulos%20wg/cligen.htm>

# ANEXO 1

---

## Análisis estadístico de datos climáticos



## 1.1 COMPLETAR DATOS FALTANTES: ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Los datos climáticos recogidos por una estación meteorológica, que contienen una variable ( $Y_i$ ) observada en una estación dada, suelen estar a menudo incompletos debido a interrupciones más o menos cortas en las observaciones. Las interrupciones pueden ser debidas a muchas causas; entre las más frecuentes están el mal funcionamiento, el daño de los instrumentos de medición o, en el caso de estaciones manuales, periodos en los que no se efectúan las lecturas diarias. Si al realizar un estudio climático contamos registros que incluyen datos faltantes, se pueden completar estos registros a partir de observaciones ( $X_i$ ) de otra estación próxima mediante la aplicación de un análisis de regresión.

Sin embargo, para utilizar el registro que contiene los datos  $X_i$  y así completar el registro que contiene las observaciones  $Y_i$ , ambos registros deben ser homogéneos, es decir, deben representar las mismas condiciones. El procedimiento para completar los registros con datos faltantes se aplica después de una prueba de homogeneidad y de que se haya realizado cualquier corrección necesaria en caso de identificarse que ambos registros de datos no son homogéneos.

Para sustituir o completar datos en un registro incompleto de forma manual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Selección de una estación meteorológica próxima a la analizada en la que la duración del registro cubra todos los periodos en los que falten datos en la estación analizada.
2. Caracterización de los registros de la estación próxima,  $X_i$ , y de la estación cuyos datos no son completos,  $Y_i$ , por medio del cálculo de la media ( $\bar{x}$ ) y de la desviación estándar ( $s_x$ ) del registro  $X_i$ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad s_x = \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1) \right)^{1/2}$$

y la media y la desviación estándar del registro  $Y_i$ :

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n \quad s_y = \left( \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1) \right)^{1/2}$$

3. Cálculo de una regresión de y con x para los periodos en que los datos en ambos registros están presentes:

$$\hat{y}_i = a + bx_i$$

$$b = \frac{\text{cov}_{xy}}{s_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

Donde a y b son constantes de regresión, y  $\text{cov}_{xy}$  es la covarianza entre  $X_i$  e  $Y_i$ . Se deben representar todos los puntos  $x_i$  e  $y_i$  y la línea de regresión para el rango de valores observados.

4. Cálculo del coeficiente de correlación r:

$$r = \frac{\text{cov}_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^{1/2}}$$

Un  $r^2$  alto ( $r^2 \geq 0,7$ ) y un valor de b que esté dentro del rango  $0,7 \leq b \leq 1,3$ , indica buenas condiciones de los datos y suficiente homogeneidad como para sustituir datos que faltan en la serie incompleta. Los parámetros  $r^2$  y b se pueden utilizar como criterios para seleccionar la mejor estación próxima en caso de contar con disponibilidad de datos de más de una estación.

5. Cálculo de los datos para los periodos faltantes usando la ecuación de regresión caracterizada por los parámetros a y b, entonces:

$$\hat{y}_k = a + bx_k$$

Las estimaciones tomadas de las ecuaciones de regresión son también útiles para predecir la evapotranspiración. Sin embargo, no pueden ser tratadas como variables al azar.

## 1.2 ELECCIÓN DE LA ESTACIÓN PATRÓN.

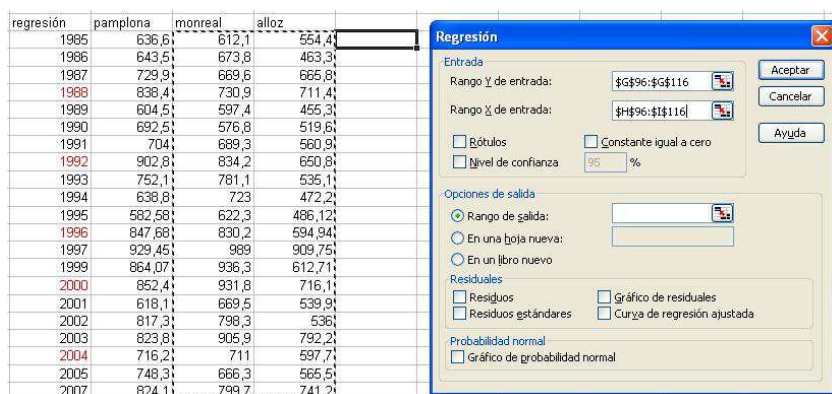
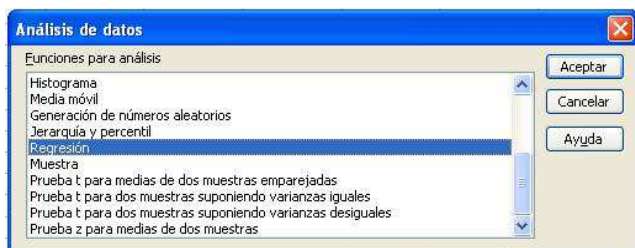
En el caso de que hubiera más de una estación meteorológica próxima al lugar donde disponemos de series climáticas incompletas, se seguiría un procedimiento común para seleccionar la estación más estadísticamente similar, denominada estación patrón. El procedimiento a seguir para la elección de la estación patrón es el siguiente:

- i) Se agrupan las estadísticas año a año de una serie de  $n$  estaciones representativas del área geográfica en estudio. La estación patrón la tomaremos como aquella que tiene como valores el promedio de los valores registrados en las estaciones consideradas.
- ii) Con los datos acumulados promedio por año, que corresponde a una primera aproximación a lo que se denominó estación patrón, se establece un análisis de doble masa entre estos valores y los valores acumulados de cada estación componente de dicho promedio.
- iii) Si las  $n$  estaciones, no presentan tendencias con quiebre, se asume que el valor promedio anual de las  $n$  estaciones seleccionadas, corresponde a los valores representativos de la estación patrón.
- iv) Si alguna de las  $n$  estaciones representa algún tipo de quiebre en las tendencias, ésta es eliminada calculándose un nuevo promedio para cada año, con las estaciones restantes. Posteriormente se repite el análisis de doble masa con cada estación, hasta llegar a un patrón de precipitaciones depurado.
- v) Si el número de estaciones de que se dispone es pequeño, menor a tres, o bien como producto del análisis de doble masa han sido eliminadas varias estaciones, reduciendo su número a una o dos, el analista debe decidir cuál de las restantes estaciones será definida como estación patrón, o bien si la única opción que eventualmente posee puede ser utilizada como estación patrón.

Finalmente, es importante de destacar que este método debe ser utilizado con cautela en zonas montañosas, por la gran influencia que ejerce el factor orográfico.

### 1.3 ANÁLISIS DE REGRESIÓN UTILIZANDO EXCEL

Para realizar el análisis de regresión en Excel emplearemos el componente “ANÁLISIS DE DATOS”. Para activarlo será necesario seguir el siguiente directorio: Inicio/Opciones de Excel/Complementos/Herramientas para análisis. Una vez activado en la pestaña Datos aparecerá la función “Análisis de datos”, la abrimos, seleccionamos “regresión” y aceptamos. Aparece una nueva ventana de diálogo en la que debemos seleccionar los datos sujetos a la regresión.



Para realizar la regresión seleccionar los datos de la estación en la que queremos completar los datos que faltan como variable independiente ( $Y_i$ ) y en la otra matriz seleccionar los datos de la estación patrón ( $X_i$ ). A continuación pulsar aceptar y aparece la siguiente información:

Resumen									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple	0,88580629								
Coefficiente de determinación R^2	0,784652783								
R^2 ajustado	0,760725314								
Error típico	51,53555483								
Observaciones	21								
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	suma de cuadrados	media de cuadrado de los cua	F	valor crítico de F				
Regresión	2	174190,583	87095,2915	32,792971	9,9599E-07				
Residuos	18	47806,4414	2655,91341						
Total	20	221997,024							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%	
Intercepción	167,9262658	73,389676	2,28814562	0,03444398	13,7402783	322,112253	13,7402783	322,112253	
Variable X 1	0,540235959	0,14016036	3,85441327	0,00116163	0,24576997	0,83470195	0,24576997	0,83470195	
Variable X 2	0,294357383	0,14304101	2,05785303	0,05438476	-0,00616063	0,5948754	-0,00616063	0,5948754	

Lo que hace Excel es calcular una serie de coeficientes que indican las similitudes estadísticas que presentan los datos recogidos por las estaciones que se comparan, con el objetivo de determinar si son homogéneas entre sí. De esta forma, se considera que un  $R^2$  alto ( $R^2 \geq 0,7$ ), indica buenas condiciones de los datos y suficiente homogeneidad como para estimar los datos que faltan en la serie incompleta. También nos devuelve los coeficientes de la recta de regresión que emplearemos para completar los datos que faltan. El cálculo de estos datos se realiza empleando la función de regresión resultante.

# ANEXO 2

---

## Funcionamiento del LARS-WG

## 2.1 SITE ANALYSIS: CALIBRACIÓN DEL MODELO

Una vez abierto el programa y aceptado las condiciones de la licencia aparece el menú principal (figura 1), en el que ya aparecen los 3 apartados mencionados anteriormente y que se describen más detalladamente a continuación:

El primer paso en el proceso de generación de series diarias de datos climáticos es el análisis del lugar –site analysis-. En este proceso se analizan los datos climáticos observados en el sitio en cuestión y para lo cual se deben generar dos archivos nuevos:

- ✓ un archivo de parámetros (\*.DAT), que contiene los datos climáticos requeridos por LARS-WG para generar series climáticas sintéticas (ver figura 4).
- ✓ un archivo de valores estadísticos (\*.st), que muestra la información de cómo están organizados los datos del archivo climático y del directorio en el que se sitúa el archivo el mismo.

Estos archivos son almacenados automáticamente en un subdirectorio situado en C:\Archivos de programa\LARS-WG. Si quieres crear un directorio diferente para guardar los archivos en donde prefieras utiliza el menú OPTIONS e indica la carpeta en donde quieres guardar el archivo.

Para comenzar con el proceso haz clic en la pestaña Analysis que se encuentra en el menú principal y luego pincha sobre la opción SITE ANALYSIS. Entonces aparecerá una ventana similar a la de la figura 2, en la que se requieren los detalles respecto a la localización del directorio y el nombre del archivo que contiene la información a analizar.

Para crear un nuevo archivo o cambiar información de uno existente debes pulsar sobre el primer icono y aparecerá una ventana que contiene información del lugar (nombre y localización), el camino al directorio y el nombre del archivo que contiene los datos climáticos.

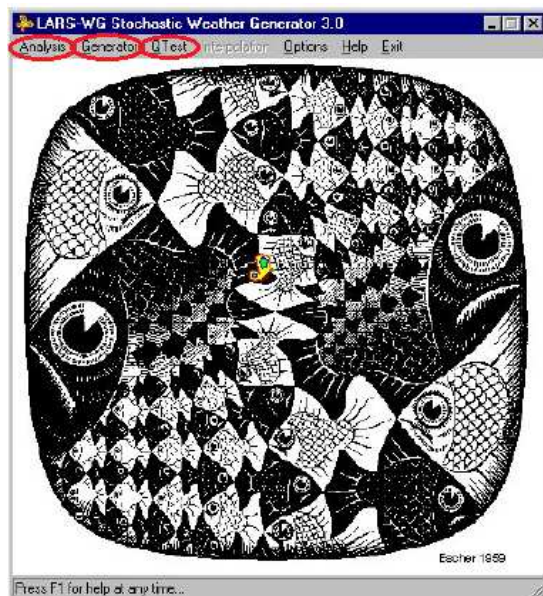


Figura 1.- Menú principal del LARS-WG



Figura 2.- Site Analysis

A continuación aparecen unas etiquetas que indican la forma en la que están organizados los datos en el archivo. Para crear un nuevo archivo \*.st con los datos de tu localización sólo tienes que editar la información con los datos que correspondan y guardar como un archivo nuevo. Si quieres añadir datos complementarios debes comenzar la línea con el término “If”, para que todo lo escrito sea ignorado por el modelo.

La forma de un archivo \*.st se representa tal y como se muestra en la figura 3:

- [SITE]- Nombre del lugar o estación
- [LAT, LON and ALT]- latitud, longitud y altitud del lugar
- [WEATHER FILES]- localización del directorio y nombre del archivo que contiene los datos climáticos recogidos del lugar.

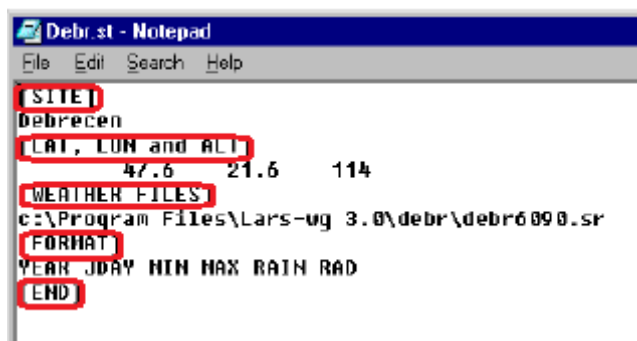


Figura 3.- Información del lugar

- [FORMAT]- se refiere a la forma en la que están ordenados los datos climáticos en el archivo. En el ejemplo aparece información del año (YEAR), el día (JDAY, de 1 a 365 o 366), la temperatura mínima en °C (MIN), la máxima (MAX), la precipitación en mm (RAIN) y la radiación solar en MJm<sup>-2</sup>día<sup>-1</sup> (RAD). Otras etiquetas que se pueden usar son día del mes (DAY), mes (MONTH) y horas de sol (SUN). En el caso de no disponer de datos de radiación solar se pueden poner en su lugar los datos de horas de sol, que automáticamente el programa los convertirá en valores de radiación solar usando un algoritmo basado en lo descrito en Rieteld (1978).
- [END]- denota el final del archivo

Year	JDAY	MIN	MAX	RAIN	RAD
1960	1	-1.7	6.8	-10	5.8
1960	2	-1.6	2.4	0.8	0.9
1960	3	1.3	4.8	0	1.7
1960	4	-1.9	5.2	1.9	2.6
1960	5	1	5.3	0	555.6
1960	6	0.2	2.4	5.8	0.9
1960	7	-1.6	1.6	0.5	1
1960	8	-1.5	3.1	3	3.3
1960	9	-3.9	0.6	2.3	1
1960	10	-10.5	-3.9	0	3.9
1960	11	-12.8	-7.4	0	6.5
1960	12	-12.8	-4.3	10.8	1
1960	13	-7.1	-2	0.7	1
1960	14	-14.2	-4.6	4.6	1
1960	15	-17.6	-7	0	2.4
1960	16	-8.8	-3	0	3.9
1960	17	-11	-5	0.7	1.1
1960	18	-8.6	-0.8	0	1.1
1960	19	-17	-3.5	0	5

Figura 4.- Ejemplo de la forma de un archivo de datos climáticos (\*.DAT) en LARS-WG. Este ejemplo está organizado de acuerdo al formato [FORMAT] descrito anteriormente en el que se muestran año, día, mínima y máxima temperatura, precipitación y radiación solar.



Para mejorar la fiabilidad de los resultados, se debe disponer de datos climáticos observados de un número de años suficiente de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

- LARS-WG es capaz de simular datos climáticos sintéticos basados en un solo año de datos observados, Sin embargo, como los datos climáticos simulados se basan en los observados, para hacer una aproximación lo más real posible en el lugar escogido se recomiendan series de datos de al menos 20-30 años de duración.
- Cada línea de datos grabados representa a un día concreto y los valores deben estar en el mismo orden de acuerdo a lo establecido en el apartado [FORMAT] del archivo \*.st.
- Los días deben disponerse en orden cronológico empezando del más temprano.
- Los valores de cada día se deben separar con espacios o en tablas y no deben contener líneas en blanco, comentarios o encabezados.
- Los datos no disponibles deben codificarse como -99.0.

Una vez se haya preparado el archivo \*.st y los datos puede continuar el proceso SITE ANALYSIS. Para ello pulsa sobre el icono en el que aparece un gráfico (el segundo por la izquierda) en la ventana Site Analysis. Si LARS-WG encuentra algún error durante este proceso, como valores de precipitación negativos o temperaturas mínimas mayores que las mínimas, se desplegará un mensaje y se detendrá el proceso. Si se completa con éxito el proceso aparecerá una ventana con el rótulo “Success”

Si todo se ha hecho de forma correcta aparecerán en el directorio C:\Archivos de programa\LARS-WG, o en el subdirectorio creado, dos archivos nuevos (\*.stx y \*.wgx). Estos dos archivos generados por el programa muestran los caracteres estadísticos de los datos y la información que será utilizada para sintetizar datos climáticos de forma artificial en el proceso de generación (GENERATOR), también se pueden abrir con el “Bloc de notas” para ver su contenido. A continuación se explica la información contenida en estos archivos:

### **Caracteres estadísticos: archivo \*.stx**

En las primeras líneas aparece el nombre y la localización, y a continuación los caracteres estadísticos de los datos climáticos observados tal y como ilustra la figura 5. El archivo contiene distribuciones semi-empíricas de las variables climáticas medidas (precipitación, mínima y máxima temperatura, y radiación solar). También muestra medias, desviaciones típicas, valores máximos, mínimos y percentiles de las variables climáticas de cada mes.

Estos datos estadísticos vienen encabezados por una línea que describe los siguientes contenidos.

1. **[SERIES seasonal distributions: WET and DRY]:** son 4 bloques de 3 meses en los que se describen la distribución semi-empírica de los eventos. Las 3 primeras líneas de cada bloque se refieren a los eventos lluviosos y las 3 siguientes los secos. En la primera línea se indica el número de eventos (lluviosos o secos) observados, la media y la desviación típica de los mismos, y la media y la desviación típica de una muestra de 1000 eventos. Ambas series son modeladas a partir de histogramas creados mediante datos observados. Los histogramas consisten en 24 intervalos cuyos puntos de corte se indican en la tercera (o sexta) línea y, en la segunda (o quinta) línea, se representa la probabilidad acumulada de que ocurra un evento de la longitud que se indica en línea anterior.
2. **[SERIES statistics: max, N of observations, mean and sd for WET and DRY]:** muestra 2 bloques uno de eventos lluviosos y otro de secos. Cada uno de ellos contiene 12 columnas (una por cada mes) de 4 líneas que representan: duración máxima observada de un evento húmedo (o seco), el número de observaciones realizadas, media y desviación típica de la duración de los eventos.
3. **[RAIN distributions]:** descripción de la distribución semi-empírica de precipitación diaria, igual que en el punto 1 pero en este caso hay 12 bloques (uno por mes) y se representa la cantidad de precipitación diaria.
4. **[RAIN monthly statistics: monthly total max and min, N of observations, monthly mean and sd]:** se representan 12 columnas (una por cada mes) de 5 líneas. La primera línea es la precipitación máxima recogida ese mes durante toda la serie de años y la segunda la mínima. La tercera el número de años de la serie, la cuarta la precipitación media de ese mes y la quinta la desviación típica de ese mes.
5. **[RAIN daily maxima: median, 95 percentile and maximum]:** se muestran 12 columnas (cada una es un mes) de 3 líneas. La primera representa la precipitación media máxima, la segunda la correspondiente al percentil 95 y la tercera a la lluvia máxima diaria recogida ese mes.
6. **[MAX distributions]:** idem punto 3 con la temperatura máxima diaria.
7. **[MAX monthly statistics: monthly mean max and min, N of observations, monthly mean and sd]:** consta de 12 columnas (una por mes) de cinco filas que representan, de las temperaturas máximas registradas, media de máximas, media de mínimas, número de años de la serie, media y desviación típica.
8. **[MAX daily maxima: median, 95 percentile and maximum]:** idem punto 5 pero con la temperatura máxima diaria.

9. **[MAX daily minima: median, 5 percentile and minimum]:** consta de 12 columnas (una por mes) de 3 filas que representan respectivamente la media mensual de temperaturas máximas más bajas, el percentil 5 y la temperatura máxima más baja registrada durante ese mes.
10. **[MIN distributions]:** idem 6 pero con mínimas
11. **[MIN monthly statistics: monthly mean max and min, N of observations, monthly mean and sd]:** idem 7 pero con mínimas
12. **[MIN daily minima: median, 5 percentile and minima]:** idem 9 pero con mínimas
13. **[MIN daily maxima: median, 95 percentile and maximum]:** idem 8 pero con temperaturas mínimas.
14. **[SPELLS of FROST and HEAT WAVES]:** muestra la distribución de frecuencias acumuladas en bloques de 3 meses de los días gélidos ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ) y cálidos ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ).
15. **[RAD distributions]:** igual que en el punto 3 pero con la cantidad de radiación solar.
16. **[RAD monthly statistics: monthly mean max and min, N, monthly mean and sd]:** representa en 12 columnas (una por mes) y 5 filas la radiación media máxima, la media mínima, el número de años de las series, la media mensual y la desviación típica.

### Parámetros del generador climático: archivo \*.wgx

Los archivos \*.wgx contienen los parámetros estadísticos derivados de los datos climáticos observados (o generados) y son usados por LARS-WG para simular datos climáticos sintéticos (ver ejemplo en Figura 6). El archivo también comienza con el nombre y localización del lugar seguido de la información mensual de las distribuciones semi-empíricas de las eventos lluviosos y secos, precipitación, mínima y máxima temperatura y radiación, así como los coeficientes de correlación.

Este tipo de archivos contienen la información de las distribuciones semi-empíricas de la longitud de los eventos lluviosos o secos, la precipitación, las máximas y mínimas temperaturas y la radiación solar de cada mes, calculadas de forma los días lluviosos de los que no lo son. También incluye los coeficientes de correlación y auto-correlación. La distribución semi-empírica se describe en bloques de 3 líneas. La primera línea contiene la información del tamaño de la muestra, su media y desviación típica, y la media y la desviación típica de una muestra de tamaño 1000. Las dos siguientes líneas describen la función empírica de probabilidad acumulada, en la segunda se muestran las probabilidades acumuladas y en la tercera los valores de cada variable.

De esta forma el archivo se compone de los siguientes apartados:

1. **[SERIES WET]:** se divide en 12 bloques (uno por mes) de tres líneas, la primera contiene la información descrita en el párrafo anterior de la muestra analizada, la segunda representa la probabilidad acumulada de los eventos lluviosos y la tercera los valores de la longitud de esos eventos lluviosos.
2. **[SERIES DRY]:** lo mismo que en el punto anterior para eventos no lluviosos
3. **[RAIN]:** 12 bloques de tres líneas, la primera contiene la información sobre la precipitación recogida a lo largo de toda la serie de la muestra analizada, la segunda representa la probabilidad acumulada de los días lluviosos y la tercera los valores de la precipitación acumulada de esos días.

La temperatura es modelada por LARS-WG mediante series de Fourier, es decir, el ciclo anual de la temperatura se describe usando curvas de seno y coseno. Estas curvas pueden construirse con información perteneciente a pocos parámetros, que son el valor medio de temperatura, la amplitud de las curvas seno/coseno y el ángulo de fase. Las temperaturas máximas y mínimas son modeladas con más precisión considerando los días secos y lluviosos de forma separada.

4. **[MAX WET]:** 12 bloques de tres líneas, la primera muestra la información de las temperaturas máximas registradas a lo largo de toda la serie de la muestra analizada, la segunda representa la probabilidad acumulada y la tercera los valores de temperatura máxima registrada en los días lluviosos.
5. **[MAX DRY]:** lo mismo para días no lluviosos.
6. **[MIN WET]:** 12 bloques de tres líneas, la primera muestra la información de las temperaturas mínimas registradas a lo largo de toda la serie de la muestra analizada, la segunda representa la probabilidad acumulada y la tercera los valores de temperatura mínima registrada en los días lluviosos.
7. **[MIN DRY]:** lo mismo para días no lluviosos

La meteorología en un día concreto se relaciona hasta cierto punto con lo ocurrido el día anterior, esta dependencia se conoce como autocorrelación. LARS-WG usa el valor promedio de autocorrelación de los datos observados para generar datos de temperatura y radiación solar sintéticos.

8. **[AUTOCORR MIN]:** Media de los valores mensuales de autocorrelación de temperatura mínima.
9. **[AUTOCORR MAX]:** Media de los valores mensuales de autocorrelación de temperatura máxima.

**10. [AUTOCORR RAD]:** Media de los valores mensuales de autocorrelación de radiación solar.

La radiación solar también se modela usando distribuciones empíricas basadas en histogramas de frecuencia. Esta representación mejora modelando la cantidad de radiación solar de forma separada en los días secos y húmedos.

**11. [RAD WET]:** 12 bloques de tres líneas, la primera muestra la información de las mediciones de radiación solar registradas a lo largo de toda la serie de la muestra analizada, la segunda representa la probabilidad acumulada y la tercera los valores de radiación solar registrados en los días lluviosos.

**12. [RAD DRY]:** Igual que en apartado anterior pero para los días no lluviosos.

## 2.2 QTEST: VALIDACIÓN DEL MODELO

Una vez que LARS-WG se ha calibrado usando los datos meteorológicos de una estación, el siguiente paso es determinar como de bien se ha hecho esto, es decir evaluar la capacidad del programa para simular el clima en el lugar escogido, con el objetivo de determinar si es válido o no para su uso en esta aplicación. Esto se realiza de dos formas diferentes: usando la opción GENERATOR para, una vez sintetizados los datos climáticos diarios compararlos con los observados; o utilizando la opción QTEST.

La opción QTest realiza una comparación estadística de los parámetros de los datos sintéticos con los de los datos climáticos observados. Con el objetivo de asegurarse que los datos simulados se ajusten lo suficiente a los observados en el lugar, se deben generar un largo número de años de datos climáticos simulados.

Para empezar el QTest pulsa sobre la pestaña Analysis en el menú principal. Aparecerá un menú desplegable con la opción QTest sobre el que pinchamos. Este test permite la opción de generar datos sintéticos de un número de años (hasta 300) basándose en los archivos de parámetros producidos anteriormente. Para ello, como muestra la figura 7 (izquierda), selecciona el lugar e inserta el número de años de datos que quieres genera. Entonces pulsa en el icono del gráfico y aparecerá una ventana con la extensión \*.tst que mostrará los resultados que ya se habrá guardado en el directorio. Este archivo \*.tsts generado realiza una comparación estadística de los archivos \*.stx con los datos observados y los generados.

El QTest genera una serie climática sintética que es comparada con los datos observados, este proceso tiene el objetivo de identificar las diferencias estadísticas que puedan existir entre ambas series de datos, para lo cual se comparan una serie de variables como son el número y duración de los eventos lluviosos, secos, días con temperaturas menores de 0 °C o mayores de 30 °C, desviaciones típicas de cantidad de precipitación, temperaturas mínimas, máximas, de radiación... Todo esto lo analiza día a día, mes a mes y año a año.

Para realizar estas comparaciones entre los datos observados y los generados el programa utiliza el test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS test) y calcula el valor-p. El archivo que se genera con este test tiene la extensión \*.tst y su interpretación viene detallada unas líneas más abajo.

Este test asume que los datos observados son una muestra de alguna distribución existente, que representa un clima concreto, y que, en ausencia de cambios en el clima, esta distribución puede ser estimada exactamente a partir de los datos observados de un largo periodo de tiempo.

Los test llevados a cabo por el QTest buscan diferencias entre el “clima simulado” y el “clima verdadero”, de forma que cada uno extrae unas estadísticas de ambas series de datos y las compara. Estas diferencias estadísticas se reflejan mediante el valor-p, que se utiliza para aceptar o rechazar las hipótesis de que dos series de datos provienen de la misma distribución, o lo que es lo mismo, si existen diferencias significativas entre ellas. En consecuencia, un valor-p bajo (normalmente menor a 0,05) significa que es poco probable que los datos simulados sean iguales que los simulados. El valor-p límite para considerar significativas las diferencias es subjetivo y depende de la importancia de cuál sea su aplicación. El valor 0,05 es el nivel significativo más comúnmente empleado en este tipo de test estadísticos y el que vamos a considerar en este trabajo.

Las variables de un clima en concreto en cuyo test hayan mostrado valores-p bajos deben investigarse. El tamaño de las muestras también afecta a la probabilidad de que sea significativo el valor-p, de forma que los test resultan más fiables cuanto más largas sean las series de datos.

En la mayoría de los casos no se dan diferencias significativas entre los datos observados y los simulados, si no es así las posibles razones de que esto ocurra son:

- ✓ Errores en los datos observados: se deben revisar y repetir el proceso.
- ✓ Anomalías climáticas: la ocurrencia de fenómenos meteorológicos poco comunes en un clima puede provocar lecturas erróneas del programa y desviaciones a la hora de generar datos sintéticos.

## Explicación del archivo \*.tst

Este archivo contiene los resultados de la comparación de las estadísticas de los datos observados y los generados. Comienza con la información del lugar y posteriormente muestra los resultados en el siguiente orden:

1. **[KS-test for seasonal wet/dry SERIES distributions: Effective N, KS statistic and p-value]**: se comparan las distribuciones de probabilidad trimestrales de las eventos lluviosos y secos mediante el K-S test y del p-valor como se indica en el apartado 3.1.4 “TEST DE BONDAD DE AJUSTE” del presente trabajo.
2. **[KS-test for daily RAIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]**: se comparan las distribuciones de probabilidad de precipitación diaria de cada mes usando el K-S test y el p-valor.
3. **[RAIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]**: sesgo, t-student y p-value de la comparación de la precipitación mensual internal
4. **[RAIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]**: son 12 columnas (una/mes) de 8 líneas, las líneas 1 y 2 son la media y la desviación típica de la precipitación de los datos observados y las líneas 3 y 4 lo mismo pero de los datos sintéticos. Las filas quinta y sexta son los resultados de la comparación de la precipitación media e incluyen los “t-statistics” y los “p-values”. Finalmente las líneas 7 y 8 indican los resultados del test de Fourier y los “f-statistics”.
5. **[RAIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]**: consiste en 12 bloques (uno por cada mes) de 6 líneas, en los que las 3 primeras son medias, percentiles 95 y valores de precipitación máximos registrados en cada mes. Las 3 siguientes líneas representan lo mismo pero de los datos generados por el programa.

A continuación se representan los resultados de igual manera para las temperaturas mínima y máxima y para la radiación:

6. **[KS-test for daily MIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]**
7. **MIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]**
8. **[MIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]**
9. **[MIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]**



10. [MIN daily minima: obs and gen median, 5 percentile and minimum]
11. [KS-test for daily MAX distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
12. MAX monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]
13. [MAX paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]:
14. [MAX daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]
15. [MAX daily minima: obs and gen median, 5 percentile and minimum]
16. [KS-test for daily RAD distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
17. RAD monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]
18. [RAD paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]:

## 2.3 GENERATOR: GENERACIÓN DE DATOS

Una vez que LARS-WG ha sido calibrado usando los datos climáticos observados del sitio en cuestión (Analysis) y que se ha verificado la representatividad del generador climático (QTest), ya se pueden simular datos climáticos sintéticos usando la opción Generator. Esta opción puede ser utilizada para generar datos climáticos sintéticos, que tengan los mismos valores estadísticos que los observados, o para simular un escenario de cambio climático.

Para generar datos climáticos sintéticos pulsa sobre el botón Generator del menú principal y aparecerá una ventana similar a la que se muestra en la figura 8. En esta tabla habrá que rellenar el nombre del lugar (site), el directorio que contiene el archivo (scenario), el factor de escala (scaling), el número de años que se desea generar y un valor al azar (Random seed).

Figura 8.- Ventana del generador



Para generar las series climáticas diarias simuladas, una vez especificado el lugar y el número de años que se desean generar, elige un número del desplegable “Rand. seed”. Este número determina la secuencia de números aleatorios que utiliza LARS.WG en el proceso de simulación, de forma que si se cambia este número los datos climáticos generados también se verán modificados.

Si todo se ha hecho correctamente el programa genera un archivo de texto, que muestra una serie sintética de datos climáticos en la que se muestra de izquierda a derecha: n° de año, n° de día, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación acumulada y radiación solar.

Una vez realizado todo el proceso repetimos con la serie sintética de 100 años generada los mismos pasos que en el apartado 2.1 de este anexo “SITE ANALYSIS: CALIBRACIÓN DEL MODELO”. De esta forma obtenemos un nuevo archivo \*.stx con los parámetros pertenecientes a las series sintéticas generadas.

# ANEXO 3

---

## Estimación de la radiación solar

El objetivo de este anexo es explicar la metodología que se ha seguido para estimar los valores de radiación solar media diaria en lugares donde no se dispone de aparatos para medirla directamente. Para ello primero se calcula la radiación solar que llega a la superficie exterior de la atmósfera en el punto donde queremos estimarla y, a partir de ese valor, se puede realizar una estimación real de la cantidad de radiación solar que llega a dicho lugar. A continuación se explican estos conceptos y se expone la metodología seguida para la estimación del valor de radiación.

### 3.1 RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE

La radiación solar extraterrestre es la radiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera. El valor se define a partir del valor de la constante solar. En primer lugar hay que definir el concepto de constante solar entendida como, la cantidad de energía solar por unidad de tiempo que incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre a una distancia del sol igual al promedio de la distancia entre el sol y la tierra. Este valor fue estimado por la NASA en  $1367 \text{ W/m}^2$ , con una desviación estándar de  $1,6 \text{ W/m}^2$  y una desviación máxima de  $7 \text{ W/m}^2$ .

Como consecuencia de la variación de la distancia tierra-sol a lo largo del año, la radiación solar que llega a la superficie atmosférica varía como indica la siguiente fórmula:

$$Ra' = 1,96 \cdot d(t-s) [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{minuto}^{-1}]$$

Donde la  $d(t-s)$  es la distancia relativa entre el Sol y la Tierra, valor que se puede estimar a partir de la formula:

$$d(t-s) = 1 + 0,033 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot n/365);$$

donde “n” es el nº del día del año y “p” el ángulo en radianes

La constante solar se refería a la radiación sobre una superficie perpendicular de forma que para pasar a la radiación sobre una superficie horizontal  $Ra$ , tendremos que considerar la altura solar  $h$ . Así:

$$Ra = S \cdot d(t-s) \cdot \sin h [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{minuto}^{-1}]$$

En la superficie perpendicular a los rayos solares “b” se recibe  $S$ ; en la superficie horizontal a los rayos solares “c” se recibe  $Ra$ . Así:

$$Ra = S \cdot b/c = S \cdot \text{sen } h$$

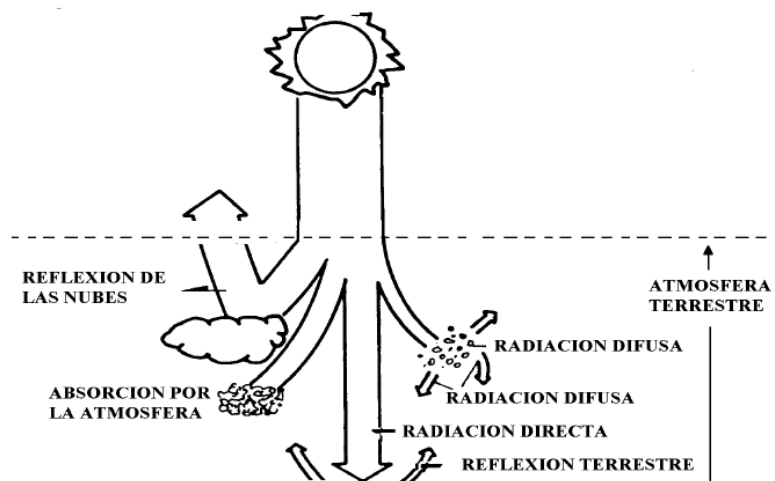
$$h = \arcsen [(sen f \times sen d) + (cos f \times cos d .cos w)].$$

$$Ra = S \cdot d(t-s) \cdot \text{sen } h$$

$$Ra = S \cdot d(t-s) \cdot [(\sin f \cdot \sin d) + (\cos f \cdot \cos d \cdot \cos w)] [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{minuto}^{-1}]$$

La radiación solar tiene que atravesar la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre, es ahí donde se va a ver afectada en su dirección y densidad debido a su interacción con la materia presente en la atmósfera.

Esta radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor que la que incide en el mismo punto de la capa superior de la atmósfera. Esta diferencia depende, por una parte de un factor fijo que son los gases atmosféricos que absorben parte de esta radiación (este término se considera constante), y por otra de la nubosidad del día en cuestión. De forma que, en días muy nubosos la radiación solar detectada será mucho menor que la radiación extraterrestre, mientras que en los días despejados la radiación solar detectada se aproximará bastante a la radiación extraterrestre (será sólo ligeramente menor).



Como ya sabemos en los días nublados la diferencia entre la temperatura diurna y la nocturna, y por tanto, entre la temperatura máxima y la mínima, es pequeña. Esta relación entre radiación solar terrestre y nubosidad, y de nubosidad con diferencia entre temperatura máxima y mínima, nos permite establecer un vínculo directo entre radiación solar terrestre y diferencia entre temperatura máxima y mínima. De esta manera, y suponiendo constante la radiación extraterrestre para un día y una latitud, la radiación solar terrestre diaria que llega a ese punto se puede estimar a partir de la siguiente fórmula:

$$R_s = R_a \cdot 0.094 \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0.636}$$

Donde  $R_s$  es la radiación solar ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $R_a$  es la radiación extraterrestre ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $T_{\max}$  es la temperatura máxima diaria ( $^{\circ}\text{C}$ ), y  $T_{\min}$  es la temperatura mínima diaria ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En conclusión, podemos afirmar que para estimar la radiación solar es necesario:

1. La radiación extraterrestre que nos dice cuál es valor máximo de la radiación solar terrestre (depende del día del año y de la latitud).
2. La diferencia entre la temperatura máxima y la mínima que nos informa sobre si el día es nublado (diferencia  $T_{\max} - T_{\min}$  pequeña) o despejado ( $T_{\max} - T_{\min}$  grande).

Como un último apunte decir que esta forma de estimar la radiación solar funciona bien en nuestra zona, pero por ejemplo, en una zona tropical en la que no hay mucha variación en la temperatura durante todo el día no se ajustaría tan bien, ya que la diferencia entre la temperatura máxima y mínima diaria en estas zonas es muy pequeña, lo que provoca que los valores de  $R_s$  calculados sean poco precisos.

# ANEXO 4

---

## Parámetros climáticos

## 4.1 PARÁMETROS DE PRECIPITACIÓN

ALBINA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	12	19	20	14	15	14	11	17	14	19	13	21
	Duración media	2,7	3,0	2,9	3,5	2,7	1,9	2,1	2,1	2,3	2,6	3,0	3,0
Evento seco	Duración máx	22	37	22	24	11	26	32	50	29	27	17	39
	Duración media	3,1	3,2	3,3	3,0	3,0	4,2	5,4	5,0	4,9	3,8	3,1	3,2
Precipitación	Máxima mensual	326,1	224,9	242,3	252,9	266,5	161,4	106,7	195,1	170,0	446,7	312,4	324,6
	Mínima mensual	7,5	13,0	17,5	7,7	16,9	4,4	0,8	7,6	0,4	7,7	17,9	14,5
	Media mensual	120,6	104,4	101,8	123,9	92,9	54,8	46,5	51,1	61,5	106,8	140,1	132,5
	sd	87,1	57,4	55,8	60,8	54,8	34,7	28,8	35,8	40,0	96,8	76,1	81,3
	Media máx diaria	25,0	25,0	23,8	28,4	21,2	20,0	20,0	16,8	19,2	24,7	32,0	28,3
	Percentil 95	86,3	61,0	55,1	64,0	38,2	49,8	40,0	51,4	50,5	63,2	54,0	70,0
	Máx diaria	100,0	70,0	64,0	74,5	40,0	89,2	59,7	66,5	61,0	73,0	62,7	107,5

ARRIOLA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	12	19	20	14	15	14	11	17	14	19	13	21
	Duración media	2,7	3,0	2,9	3,5	2,7	1,9	2,1	2,1	2,3	2,6	3,0	3,0
Evento seco	Duración máx	22	37	22	24	11	26	32	50	29	27	17	39
	Duración media	3,1	3,2	3,3	3,0	3,0	4,2	5,4	5,0	4,9	3,8	3,1	3,2
Precipitación	Máxima mensual	326,1	224,9	242,3	252,9	266,5	161,4	106,7	195,1	170,0	446,7	312,4	324,6
	Mínima mensual	7,5	13,0	17,5	7,7	16,9	4,4	0,8	7,6	0,4	7,7	17,9	14,5
	Media mensual	120,6	104,4	101,8	123,9	92,9	54,8	46,5	51,1	61,5	106,8	140,1	132,5
	sd	87,1	57,4	55,8	60,8	54,8	34,7	28,8	35,8	40,0	96,8	76,1	81,3
	Media máx diaria	25,0	25,0	23,8	28,4	21,2	20,0	20,0	16,8	19,2	24,7	32,0	28,3
	Percentil 95	86,3	61,0	55,1	64,0	38,2	49,8	40,0	51,4	50,5	63,2	54,0	70,0
	Máx diaria	100,0	70,0	64,0	74,5	40,0	89,2	59,7	66,5	61,0	73,0	62,7	107,5

GAMIZ		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	13	8	11	9	12	6	5	6	8	10	10	12
	Duración media	2,1	2,2	2,0	2,3	2,2	1,7	1,6	1,5	1,9	2,1	2,4	2,3
Evento seco	Duración máx	19	35	24	16	26	50	34	58	28	4	18	26
	Duración media	3,9	4,0	4,6	3,2	4,2	6,4	8,7	8,4	0,9	5,5	3,4	4,3
Precipitación	Máxima mensual	203,0	113,0	123,0	176,0	154,0	173,0	110,0	171,0	93,0	242,0	177,0	167,0
	Mínima mensual	6,0	6,0	5,0	11,0	25,0	3,0	0,0	5,0	0,0	4,0	7,0	3,0
	Media mensual	66,8	56,7	55,9	79,4	72,2	46,2	35,8	34,9	42,8	67,7	82,6	73,6
	sd	44,7	31,5	32,5	39,9	33,6	34,1	30,7	30,6	27,5	50,5	47,2	41,6
	Media máx. diaria	17,0	14,0	15,0	20,0	20,0	15,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	18,0
	Percentil 95	34,0	27,0	33,0	50,0	38,0	58,0	74,0	42,0	34,0	35,0	45,0	43,0
	Máx. diaria	36,0	30,0	55,0	55,0	45,0	61,0	80,0	75,0	40,0	35,0	48,0	55,0

LAGRÁN		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	11	9	8	12	12	8	4	5	8	9	10	7
	Duración media	2,0	2,1	2,1	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,7	2,0	2,2	2,1
Evento seco	Duración máx	29	41	24	30	26	39	39	58	35	32	21	39
	Duración media	0,2	4,1	4,7	3,3	4,0	6,6	9,1	8,0	5,8	4,9	3,9	4,4
Precipitación	Máxima mensual	196,5	331,0	177,5	216,5	181,7	153,0	111,7	210,0	193,0	248,5	308,0	193,6
	Mínima mensual	2,5	8,5	5,4	11,0	19,5	2,0	4,0	4,5	0,0	4,6	17,5	11,5
	Media mensual	83,3	77,8	74,8	97,8	84,0	56,5	35,5	33,8	52,1	74,7	108,4	94,3
	sd	48,1	54,5	43,8	45,7	39,5	37,7	25,7	34,5	39,0	54,7	69,1	46,3
	Media máx diaria	20,5	19,4	20,0	22,5	22,0	19,5	16,5	13,5	17,5	19,0	25,8	22,5
	Percentil 95	73,0	45,4	44,5	49,4	45,0	41,5	37,0	29,0	44,0	39,0	63,0	51,0
	Máx diaria	87,5	80,0	60,0	60,0	50,0	63,4	47,0	58,5	86,0	50,0	93,0	63,5

MURGUÍA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	13	12	10	13	15	5	5	6	9	11	10	17
	Duración media	2,4	2,6	2,4	2,8	2,3	1,7	1,7	1,6	2,1	2,3	2,6	2,7
Evento seco	Duración máx	31	23	16	24	26	32	82	25	27	28	20	25
	Duración media	3,7	3,4	3,2	3,1	3,7	4,7	7,4	6,2	5,1	4,4	0,6	3,7
Precipitación	Máxima mensual	278,9	317,4	198,6	294,6	289,2	170,0	163,0	213,0	119,5	424,9	375,0	369,3
	Mínima mensual	6,0	14,4	30,4	11,0	9,0	9,4	1,0	0,0	0,0	7,4	10,7	14,4
	Media mensual	122,4	107,9	101,1	124,3	100,1	62,4	40,7	50,5	52,5	106,8	132,4	132,5
	sd	84,4	73,9	46,0	62,8	61,0	35,1	33,5	41,6	34,2	92,4	95,0	95,6
	Media máx diaria	27,0	29,0	28,0	27,0	23,2	22,5	14,0	23,0	15,4	28,0	34,0	29,0
	Percentil 95	66,0	63,0	60,0	41,0	64,0	60,0	48,0	45,0	45,4	60,0	77,6	61,0
	Máx diaria	66,0	75,0	62,4	46,0	64,0	65,0	59,0	61,0	63,0	80,0	84,0	75,0

OPACUA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	10	8	7	12	12	8	5	6	7	12	10	9
	Duración media	2,2	2,1	1,9	2,3	2,1	1,8	1,6	1,6	1,7	2,2	2,5	2,2
Evento seco	Duración máx	55	31	23	15	19	26	36	56	27	28	24	38
	Duración media	4,6	4,3	4,5	3,5	3,5	7,0	9,5	8,2	6,4	5,4	4,4	4,8
Precipitación	Máxima mensual	201,7	130,1	168,0	200,2	146,0	169,7	165,5	251,5	130,2	201,4	264,8	177,6
	Mínima mensual	5,0	0,0	7,5	26,9	3,5	3,5	0,9	3,7	0,0	5,2	7,3	14,8
	Media mensual	84,4	70,2	61,8	100,1	75,4	55,1	43,6	43,4	47,7	81,3	105,7	94,4
	sd	50,7	37,4	33,8	49,7	33,1	43,2	36,7	43,5	34,3	53,8	58,5	43,2
	Media máx diaria	20,0	18,5	17,0	21,0	18,4	14,8	17,8	17,0	18,0	22,6	26,0	22,3
	Percentil 95	59,0	38,0	37,0	55,1	35,0	51,6	62,0	37,0	34,6	45,5	60,0	51,0
	Máx diaria	60,0	49,1	64,3	56,0	37,8	59,3	148,0	77,8	39,3	61,7	67,7	67,0



PEÑACERRADA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	11	8	8	8	11	9	5	6	6	10	11	9
	Duración media	2,1	2,0	1,0	1,9	2,2	2,0	1,8	1,41,5	1,7	1,9	2,5	2,1
Evento seco	Duración máx	28	40	27	17	26	42	85	29	29	38	23	71
	Duración media	4,6	4,5	5,1	3,5	4,3	7,7	10,8	9,7	6,7	6,0	4,2	5,1
Precipitación	Máxima mensual	174,5	152,0	145,8	188,8	201,3	183,7	125,8	161,0	125,9	231,3	269,0	172,1
	Mínima mensual	0,0	3,8	6,0	15,5	11,7	0,5	0,0	0,0	0,0	2,6	4,5	3,5
	Media mensual	70,5	61,0	60,4	86,6	79,0	52,9	33,4	32,7	45,9	65,5	94,3	80,6
	sd	39,7	40,7	34,2	45,0	41,1	39,3	30,5	31,9	32,7	47,9	64,1	41,8
	Media máx, diaria	16,3	15,3	18,0	20,0	20,5	20,0	14,0	13,0	16,0	18,0	20,0	21,0
	Percentil 95	41,2	40,0	27,3	50,0	40,0	47,4	41,4	50,0	43,5	48,3	48,0	42,0
	Máx, diaria	48,0	60,0	30,0	54,5	40,0	72,0	65,5	55,0	47,0	50,0	74,0	60,2

SALINAS DE ANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	7	9	7	10	10	6	5	6	6	10	12	7
	Duración media	1,9	2,0	1,9	2,1	2,0	1,7	1,5	1,4	1,7	1,8	2,2	2,1
Evento seco	Duración máx	28	35	24	28	26	43	46	58	28	28	27	66
	Duración media	4,3	4,4	4,6	3,8	4,2	7,5	9,4	9,6	6,4	5,3	4,6	4,7
Precipitación	Máxima mensual	217,7	133,0	119,3	179,4	152,2	149,6	99,7	201,2	151,5	214,8	259,0	176,1
	Mínima mensual	0,0	4,5	5,0	9,3	13,2	7,8	0,0	0,5	0,0	2,4	4,0	7,3
	Media mensual	64,6	55,5	53,6	70,6	68,7	48,4	32,6	36,4	46,1	59,3	80,8	71,6
	sd	43,2	35,8	29,6	38,3	36,6	33,1	26,7	38,8	32,2	43,2	54,9	36,3
	Media máx diaria	16,0	13,0	15,5	18,0	20,0	17,0	11,5	16,0	20,0	16,0	22,0	20,0
	Percentil 95	36,0	34,0	36,0	39,0	32,0	46,0	35,0	46,0	35,0	35,0	45,0	34,0
	Máx diaria	58,0	51,0	45,0	72,0	43,0	58,5	56,0	82,0	44,0	38,0	60,0	37,0

SENDADIANO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	12	29	11	15	11	8	5	7	14	13	15	11
	Duración media	2,5	2,6	2,2	2,9	2,4	1,8	1,6	1,6	2,0	2,1	2,9	2,5
Evento seco	Duración máx	24	26	20	15	26	47	30	59	27	32	18	37
	Duración media	4,2	3,8	4,2	3,4	3,8	6,5	6,8	7,4	5,5	4,9	3,8	4,7
Precipitación	Máxima mensual	254,5	210,1	207,9	275,0	288,0	168,8	112,2	286,5	125,0	328,3	265,2	254,5
	Mínima mensual	6,2	9,5	22,3	8,9	7,5	2,5	4,0	0,0	0,0	5,2	15,0	4,0
	Media mensual	102,5	85,8	86,2	111,9	98,6	58,8	38,9	49,0	51,3	85,9	120,9	110,6
	sd	64,7	52,4	49,2	64,7	63,8	37,5	26,9	52,7	36,1	73,7	74,7	64,9
	Media máx diaria	24,4	18,2	20,5	22,0	21,6	17,0	14,2	15,0	15,6	22,4	27,4	25,2
	Percentil 95	64,0	46,7	61,1	72,2	61,0	59,5	61,4	43,5	43,0	61,5	80,0	58,0
	Máx diaria	68,0	50,0	85,0	78,0	65,0	70,0	70,0	109,0	51,8	61,5	82,7	110,5

ULLIVARRI-GAMBOA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	12	9	10	9	13	6	5	8	9	11	9	15
	Duración media	2,1	2,3	2,1	2,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,8	1,9	2,3	2,3
Evento seco	Duración máx	28	37	25	29	26	40	55	40	28	34	20	38
	Duración media	3,9	4,2	4,2	3,8	4,3	7,1	8,4	8,2	6,0	5,4	3,7	4,3
Precipitación	Máxima mensual	226,0	154,0	193,0	184,0	173,0	146,0	102,0	259,0	136,0	296,0	284,0	239,0
	Mínima mensual	4,0	6,0	5,0	4,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	7,0	12,0	8,0
	Media mensual	87,0	70,2	78,6	88,3	73,6	51,4	34,5	42,2	49,5	78,6	105,6	98,5
	sd	59,3	47,2	43,8	45,5	44,3	35,1	26,9	44,3	34,4	62,6	63,0	59,4
	Media máx diaria	23,0	16,0	21,0	22,0	19,0	18,0	15,0	17,0	19,0	24,0	29,0	24,0
	Percentil 95	49,0	43,0	55,0	59,0	39,0	46,0	43,0	45,0	38,0	55,0	50,0	63,0
	Máx diaria	57,0	48,0	96,0	78,0	53,0	54,0	53,0	93,0	54,0	89,0	72,0	104,0

BALMAEDA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	15	17	16	24	20	8	6	11	14	22	32	17
	Duración media	3,2	3,4	3,2	3,9	2,9	2,1	2,0	2,0	2,6	2,9	3,8	3,5
Evento seco	Duración máx	19	21	19	13	12	30	19	19	19	20	17	14
	Duración media	3,0	3,5	3,2	3,0	2,8	3,5	3,5	3,4	3,8	3,2	2,9	3,0
Precipitación	Máxima mensual	436,0	350,5	299,7	299,4	202,7	175,8	153,1	283,1	175,3	461,0	335,4	310,4
	Mínima mensual	5,7	18,5	20,5	6,5	25,0	1,4	0,3	11,5	2,1	25,1	14,9	9,4
	Media mensual	143,5	116,1	127,3	131,9	86,4	56,0	45,4	58,3	67,6	121,2	153,3	143,4
	sd	93,5	74,6	73,9	78,3	48,9	44,7	35,2	51,2	45,5	99,8	84,5	80,1
	Media máx diaria	34,1	24,1	33,0	23,6	22,2	14,1	13,0	20,6	19,0	27,1	37,8	33,5
	Percentil 95	61,5	55,1	79,3	51,6	56,2	49,2	60,2	53,5	56,7	74,3	68,4	85,5
	Máx diaria	62,2	61,3	95,8	96,5	60,2	72,4	71,1	85,3	102,4	76,5	73,3	89,5

AMURRIO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	13	12	13	13	16	6	5	6	14	8	15	9
	Duración media	2,2	2,5	2,2	2,6	2,2	1,8	1,6	1,7	1,8	2,2	2,4	2,2
Evento seco	Duración máx	24	26	20	33	20	44	31	40	31	32	20	39
	Duración media	3,9	4,2	4,4	3,6	3,7	6,6	6,6	6,6	5,3	5,1	3,7	4,6
Precipitación	Máxima mensual	259,5	218,7	237,2	238,3	295,6	212,9	181,3	423,3	117,0	406,5	371,4	259,7
	Mínima mensual	3,2	14,0	15,4	0,0	15,7	8,0	5,5	7,7	0,0	9,9	16,5	2,4
	Media mensual	113,4	93,3	97,1	20,6	95,5	66,0	5 1,0	63,5	59,2	106,9	127,2	104,7
	sd	66,4	52,5	52,8	61,9	61,5	43,3	43,6	73,3	37,0	86,2	81,1	64,0
	Media máx diaria	30,0	22,9	22,3	25,7	20,4	20,8	15,6	22,2	20,2	27,2	30,3	23,2
	Percentil 95	51,0	41,8	65,8	52,4	49,6	74,3	84,3	74,4	60,0	67,7	64,1	70,2
	Máx. diaria	51,8	47,0	78,6	74,4	85,4	76,2	97,1	214,3	64,3	74,6	67,2	84,3

ARCAUTE		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	15	15	13	18	17	6	7	7	9	15	16	15
	Duración media	2,4	2,5	2,3	2,7	2,4	1,8	1,6	1,8	1,9	2,2	2,7	2,7
Evento seco	Duración máx	90	40	24	19	34	53	42	31	33	28	20	22
	Duración media	4,4	4,1	4,0	3,4	3,6	5,2	7,7	7,3	4,7	4,2	3,5	3,7
Precipitación	Máxima mensual	199,1	129,9	183,0	164,7	213,4	203,0	103,1	210,4	162,5	240,4	182,3	374,3
	Mínima mensual	0,0	0,0	0,0	14,2	17,6	6,9	0,0	2,5	0,5	5,0	17,1	6,0
	Media mensual	69,6	54,4	60,2	74,1	71,2	53,4	31,8	36,1	47,6	72,2	86,5	91,4
	sd	45,9	35,1	40,3	35,5	41,7	37,3	27,6	34,0	34,7	47,1	46,5	64,4
	Media máx diaria	17,0	14,0	15,0	16,9	18,7	17,5	11,0	15,0	15,4	20,0	20,5	21,0
	Percentil 95	31,0	30,0	45,0	39,0	33,3	54,0	53,0	46,5	34,0	36,5	45,5	48,0
	Máx diaria	31,5	40,0	68,0	55,0	72,5	87,0	87,0	72,0	39,7	46,3	48,5	234,0

CAMPEZO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	13	8	7	9	11	10	4	6	5	6	8	8
	Duración media	2,0	2,1	2,0	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	2,3	2,2
Evento seco	Duración máx	33	32	24	17	36	45	43	55	34	32	17	31
	Duración media	4,4	4,6	4,9	1,7	4,2	7,6	8,3	9,4	6,1	4,8	4,0	4,5
Precipitación	Máxima mensual	217,5	176,5	196,6	220,0	167,9	158,9	170,5	172,5	136,2	220,0	182,5	187,0
	Mínima mensual	1,5	5,5	5,0	13,2	12,9	0,0	0,0	2,5	0,0	6,0	11,0	3,0
	Media mensual	72,3	62,6	64,0	81,7	67,1	49,8	36,6	26,0	41,7	70,9	95,0	93,1
	sd	51,5	38,3	44,4	49,1	38,6	40,1	36,0	31,6	31,9	43,3	46,3	49,4
	Media máx diaria	19,0	18,0	18,0	19,0	16,7	18,0	13,0	9,7	15,0	19,0	28,0	24,0
	Percentil 95	49,0	33,0	59,0	53,0	50,0	49,0	64,0	30,0	46,0	39,2	69,0	48,5
	Máx diaria	57,0	33,0	78,0	62,0	51,0	103,0	75,0	41,0	52,5	45,0	83,0	75,0

ZAMBRANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	13	12	10	12	11	5	4	12	10	9	14	11
	Duración media	2,1	2,3	2,3	2,3	2,0	1,6	1,4	2,4	1,8	2,0	2,3	1,9
Evento seco	Duración máx	43	25	43	30	25	58	113	36	28	46	41	80
	Duración media	4,5	4,7	5,2	4,2	4,4	6,6	10,2	9,6	6,7	5,7	4,7	4,8
Precipitación	Máxima mensual	154,4	80,9	98,6	188,8	161,0	152,0	90,2	130,0	127,0	109,9	111,5	101,4
	Mínima mensual	0,0	6,0	6,8	6,7	17,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
	Media mensual	53,0	40,5	39,2	64,6	65,4	44,5	32,1	29,7	39,3	45,5	53,4	49,7
	sd	36,2	24,7	22,0	42,3	34,0	37,6	27,6	33,7	25,9	28,3	33,5	32,0
	Media máx diaria	16,0	12,0	11,3	15,6	18,0	12,5	12,0	12,0	15,2	13,0	16,2	12,8
	Percentil 95	31,0	20,0	20,6	36,6	35,8	35,7	39,5	46,5	32,0	30,2	55,0	31,0
	Máx diaria	32,0	31,0	24,1	42,2	54,0	57,7	40,3	63,0	42,3	32,9	55,8	39,7

ALSASUA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	19	12	18	20	15	10	5	6	14	10	15	18
	Duración media	3,3	3,2	3,1	3,6	2,9	2,1	1,8	1,9	2,4	2,7	3,3	3,6
Evento seco	Duración máx	22	18	20	13	22	21	28	40	19	20	13	15
	Duración media	3,3	3,1	4,0	3,0	3,7	4,8	5,3	4,9	4,2	3,5	3,1	3,5
Precipitación	Máxima mensual	282,7	274,7	280,7	253,6	219,0	175,7	107,7	109,0	168,8	403,2	284,1	274,0
	Mínima mensual	6,4	22,8	30,1	59,7	20,5	9,7	2,2	5,3	0,0	13,6	30,0	16,1
	Media mensual	129,8	110,6	112,5	125,9	18,8	65,9	40,3	39,8	69,0	108,0	156,5	140,0
	sd	78,0	58,5	66,3	56,0	46,8	47,6	28,6	31,0	46,1	81,4	69,5	69,5
	Media máx diaria	32,0	28,5	26,5	26,0	28,0	14,5	13,5	11,5	17,0	23,5	39,0	26,0
	Percentil 95	55,0	42,0	57,0	50,0	55,2	52,5	46,5	38,0	53,0	61,5	8,0	70,0
	Máx diaria	60,0	47,8	70,0	51,3	59,0	57,4	63,2	50,7	4,0	66,0	86,0	104,0

VIANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	8	8	8	6	8	6	4	6	6	8	8	10
	Duración media	2,0	1,9	1,9	2,1	2,0	1,7	1,4	1,5	1,7	1,9	2,2	2,3
Evento seco	Duración máx	34	35	26	22	36	46	54	55	34	21	41	47
	Duración media	4,6	5,2	6,2	4,1	5,1	7,7	10,1	10,3	6,7	5,0	4,4	5,9
Precipitación	Máxima mensual	97,0	81,8	144,2	156,5	127,1	139,6	72,3	88,3	110,3	119,1	95,6	119,5
	Mínima mensual	0,0	1,5	0,5	12,6	11,0	1,3	0,0	0,0	0,0	5,2	7,2	0,5
	Media mensual	37,0	28,4	31,5	49,6	43,8	46,7	28,0	19,3	31,1	41,3	47,3	43,3
	sd	24,5	19,3	28,6	33,1	23,0	39,2	23,6	19,0	25,4	27,7	26,3	31,0
	Media máx diaria	9,4	9,0	10,3	13,0	14,0	18,0	11,1	7,5	9,6	12,7	12,5	12,2
	Percentil 95	24,0	22,0	20,3	28,5	25,0	39,0	38,6	27,8	40,0	29,0	35,7	34,5
	Máx diaria	27,0	27,5	45,5	58,7	28,0	41,0	43,0	31,0	55,0	29,1	36,0	43,1

MIRANDA DE EBRO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Evento lluvioso	Duración máx	10	14	10	12	13	8	5	8	8	8	13	11
	Duración media	2,1	2,2	2,2	2,5	2,5	1,9	1,7	1,7	2,0	2,2	2,8	2,3
Evento seco	Duración máx	41	35	24	29	25	7	76	41	29	31	19	32
	Duración media	4,4	4,2	5,3	3,6	4,7	7,0	9,2	7,9	6,3	4,7	4,2	3,9
Precipitación	Máxima mensual	129,7	85,3	113,4	196,0	185,2	218,0	89,7	213,2	115,8	162,6	120,7	122,5
	Mínima mensual	1,0	3,5	3,5	4,8	7,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,5	1,6	3,0
	Media mensual	44,9	39,3	35,9	59,5	55,9	50,1	32,1	28,8	35,9	49,9	56,8	53,3
	sd	29,8	24,8	23,3	39,0	34,0	41,9	26,8	38,5	27,4	33,1	30,1	32
	Media máx diaria	12,0	10,0	12,0	13,4	15,5	14,8	12,5	8,2	13,0	12,0	18,0	14,5
	Percentil 95	35,0	25,0	28,5	43,0	32,3	62,0	44,0	45,0	30,0	33,5	39,0	45,5
	Máx diaria	38,0	29,0	35,0	50,0	50,0	65,0	59,0	85,0	35,0	43,0	46,0	45,5

## 4.2 PARÁMETROS DE TEMPERATURA

AMURRIO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	14,8	17,8	19,5	20,7	24,7	28,5	29,8	30,9	29,0	24,2	19,0	16,6
	Media mín mes	8,0	10,0	12,1	12,2	14,4	20,2	23,0	23,5	21,3	14,8	11,5	9,3
	Media mensual	11,8	13,3	15,5	16,9	20,8	23,9	26,3	26,6	24,7	19,8	15,1	12,7
	sd	1,7	2,1	1,8	1,9	2,5	1,8	1,9	1,8	2,1	2,0	1,7	1,6
	Media máx diaria	18,0	18,5	24,0	26,5	30,0	33,5	36,5	35,0	33,0	26,0	21,5	19,0
	Percentil 95	20,0	23,5	26,5	29,0	35,0	35,5	39,5	39,5	37,0	30,5	24,5	22,0
	Máx diaria	20,5	25,0	30,5	29,0	36,0	36,5	39,5	40,0	39,0	31,5	25,0	22,5
	Media mín diaria	6,0	7,0	8,0	10,0	13,0	16,0	19,0	19,5	16,5	13,0	8,5	6,5
	Percentil 5	1,0	1,5	4,5	7,5	9,0	14,0	15,5	17,0	12,5	10,0	3,5	3,5
	Mín diaria	-2,5	1,5	4,0	5,5	8,0	12,5	15,0	16,5	11,5	9,0	2,0	3,0
Tmín	Media máx, mes	6,4	7,8	7,3	8,9	11,3	13,4	16,8	16,5	15,5	12,3	10,1	10,0
	Media mín, mes	-0,5	-0,6	-0,5	1,9	5,9	8,0	10,6	10,6	7,8	4,6	2,3	-1,5
	Media mes	2,9	3,5	4,1	5,5	8,8	11,4	13,7	13,9	11,9	9,4	5,9	4,1
	sd	1,8	1,9	2,0	1,5	1,5	1,2	1,5	1,6	1,9	1,8	1,9	2,3
	Media mín diaria	-4,0	-3,5	-2,0	-0,5	2,5	6,0	8,5	9,0	7,0	3,0	-1,5	-3,5
	Percentil 5	-8,5	-7,0	-6,5	-4,0	-1,0	2,0	5,5	4,5	0,5	-1,0	-6,0	-8,5
	Mín diaria	-12,5	-7,0	-7,0	-4,5	-2,0	1,5	5,0	4,0	-0,5	-2,0	-7,5	-9,0
	Media máx diara	10,0	10,0	11,0	11,5	14,0	17,0	19,0	18,0	17,5	16,0	12,5	11,0
	Percentil 95	14,0	13,5	16,0	16,5	18,5	22,0	23,0	21,5	21,0	19,0	17,5	16,5
	Máx diaria	14,5	14,0	16,0	17,5	18,5	22,5	24,0	26,0	23,0	19,0	18,5	17,5

ARCAUTE		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	11,7	15,7	18,9	18,6	22,5	27,3	28,1	29,8	27,6	24,1	16,1	12,5
	Media mín mes	1,6	0,1	8,4	9,6	10,9	16,7	17,2	21,6	19,0	11,8	8,4	5,0
	Media mensual	8,3	10,0	12,9	14,6	18,5	22,3	25,0	25,5	23,1	17,8	11,9	8,5
	sd	1,9	2,7	2,3	1,8	2,1	2,0	2,1	1,8	2,2	2,3	2,0	1,8
	Media máx diaria	15,0	17,0	22,0	24,0	28,0	32,0	35,0	34,6	31,0	25,0	18,5	15,0
	Percentil 95	19,0	21,5	26,0	28,5	32,0	5,5	39,0	39,0	37,0	29,0	22,5	19,0
	Máx diaria	28,0	26,0	27,5	45,5	33,0	36,0	40,0	39,0	38,0	30,5	26,5	19,0
	Media mín diaria	1,5	3,0	4,5	6,0	10,0	13,5	16,0	17,0	14,0	10,0	5,0	2,0
	Percentil 5	-5,0	-2,0	0,5	3,0	6,0	9,0	12,0	13,5	10,5	6,0	1,0	-2,5
	Mín diaria	-16,0	-8,0	-1,7	2,0	4,0	5,0	4,0	11,0	10,0	2,5	0,0	-3,5
Tmín	Media máx mes	0,9	4,6	6,4	6,8	9,7	13,1	16,4	15,0	13,3	11,2	8,4	6,7
	Media mín mes	-4,6	-6,2	-1,6	1,5	4,3	7,2	8,0	6,9	7,0	1,6	0,2	-5,0
	Media mes	0,9	1,1	2,3	4,0	6,7	9,7	11,4	11,5	9,7	7,1	3,5	1,7
	sd	1,8	1,9	1,6	1,2	1,3	1,4	1,7	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0
	Media mín diaria	-6,5	-5,0	-4,5	-2,0	0,0	3,0	5,0	5,0	3,0	0,0	-3,5	-5,5
	Percentil 5	-10,0	-9,5	-9,0	-5,0	-3,0	0,0	2,0	1,0	-1,0	-3,5	-9,0	-9,8
	Mín diaria	-21,0	-17,0	-12,0	-6,0	-3,0	-5,0	0,0	0,5	-2,0	-5,5	-9,5	-15,0
	Media máx diara	8,1	8,0	9,0	10,5	13,0	16,0	17,5	17,5	16,0	14,0	10,5	8,0
	Percentil 95	11,0	11,5	13,5	15,0	13,0	20,0	22,0	21,0	19,0	17,0	15,0	12,5
	Máx diaria	12,0	14,5	15,0	17,5	17,0	24,0	24,0	21,5	20,0	18,5	16,0	15,0

CAMPEZO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	12,1	14,6	18,5	22,9	28,2	29,9	30,4	31,6	27,5	21,8	14,8	12,5
	Media mín mes	4,4	6,9	9,2	10,2	12,7	19,1	24,2	24,1	19,4	12,4	7,5	5,9
	Media mensual	8,7	10,5	13,8	15,7	20,0	24,4	27,4	27,4	23,3	17,6	11,9	9,3
	sd	1,7	2,2	2,1	2,7	3,1	2,4	1,8	1,9	2,0	2,2	1,8	1,5
	Media máx diaria	15,0	17,0	21,5	23,5	27,5	32,5	35,0	34,5	30,0	24,0	19,0	15,5
	Percentil 95	18,0	22,0	25,0	28,5	34,0	38,0	38,0	37,5	35,0	28,0	22,5	18,5
	Máx diaria	18,5	22,5	25,5	30,0	34,5	38,0	39,5	38,0	37,0	28,5	24,5	19,0
	Media mín diaria	3,0	4,0	6,5	8,0	11,5	15,0	18,5	18,5	15,5	10,5	7,0	3,0
	Percentil 5	-2,0	-1,0	2,5	5,0	6,0	12,5	15,0	15,5	12,0	7,0	2,0	0,0
	Mín diaria	-5,0	-1,0	2,0	3,0	4,4	12,0	13,5	15,0	11,5	5,0	-1,0	0,0
Tmín	Media máx mes	3,6	4,7	5,9	8,8	10,9	14,3	15,1	14,9	12,8	9,7	7,2	6,5
	Media mín mes	-2,2	-3,1	-0,4	2,3	3,0	5,1	6,9	8,2	5,2	3,5	-1,3	-2,3
	Media mes	0,8	1,0	3,1	4,4	7,6	10,5	12,6	12,8	10,1	6,9	3,4	1,7
	sd	1,6	1,6	1,4	1,5	1,7	1,5	1,9	1,6	1,7	1,5	2,1	2,1
	Media mín diaria	-5,0	-4,0	-2,0	-0,5	2,0	5,5	8,0	7,5	5,0	1,0	-2,5	-4,5
	Percentil 5	-10,0	-8,5	-7,0	-3,5	-1,5	2,5	2,0	2,0	1,0	-3,5	-8,0	-10,5
	Mín diaria	-11,5	-15,0	-7,5	-6,0	-4,5	0,5	2,0	-0,5	-0,5	-4,0	-11,0	-11,0
	Media máx diara	7,0	7,0	9,0	9,0	13,0	16,5	18,0	18,0	16,0	13,0	10,0	8,0
	Percentil 95	9,0	10,5	12,0	12,5	16,0	19,0	20,5	21,5	18,5	16,0	13,0	10,5
	Máx diaria	9,5	10,5	14,0	15,0	18,5	20,0	22,5	22,0	19,0	17,5	14,0	11,0

ZAMBRANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	12,7	15,5	17,3	19,0	22,6	27,7	29,5	31,5	27,6	21,3	15,8	13,2
	Media mín mes	5,7	7,1	10,7	12,4	15,6	19,1	22,3	23,4	20,8	14,7	9,7	6,1
	Media mensual	9,1	11,3	14,6	15,6	19,7	23,4	26,4	27,0	23,9	18,3	12,5	9,6
	sd	1,7	2,0	1,7	1,7	2,0	2,1	1,6	2,0	1,7	1,9	1,6	1,7
	Media máx diaria	15,0	18,0	22,8	24,3	27,2	32,5	34,9	34,0	31,1	24,3	18,9	15,0
	Percentil 95	17,5	20,4	26,2	27,2	32,0	35,9	37,4	37,4	34,9	28,1	23,3	18,9
	Máx diaria	18,0	21,4	28,1	27,7	33,0	36,4	38,8	40,8	36,9	30,1	24,8	19,4
	Media mín diaria	1,9	4,9	6,8	7,8	12,1	15,5	18,0	18,9	15,5	11,2	5,8	2,9
	Percentil 5	-0,5	0,5	3,4	5,8	9,7	12,1	14,6	15,5	11,2	7,8	2,9	-1,5
	Mín diaria	-2,9	0,0	1,9	4,9	8,3	12,1	13,6	14,6	10,7	7,8	1,0	-1,5
Tmín	Media máx mes	4,7	4,9	7,2	7,1	9,0	13,3	14,3	14,8	11,9	8,9	7,6	6,1
	Media mín mes	-1,3	-1,2	0,3	2,2	4,7	7,5	8,7	9,0	7,5	5,8	0,7	-2,3
	Media mes	1,5	1,9	3,1	4,3	7,2	9,9	11,5	11,7	9,7	7,4	4,0	2,3
	sd	1,5	1,6	1,4	1,1	1,0	1,2	1,3	1,2	1,3	1,0	1,7	1,9
	Media mín diaria	-4,1	-2,9	-1,8	-0,5	2,7	4,5	7,2	7,2	5,0	1,8	-1,8	-2,7
	Percentil 5	-8,1	-7,2	-7,2	-2,7	-0,5	1,8	5,4	4,1	0,9	-1,8	-6,3	-8,6
	Mín diaria	-13,5	-7,2	-8,6	-3,1	-0,9	0,0	0,5	2,7	0,2	-2,3	-7,2	-9,0
	Media máx diara	7,7	7,2	8,6	8,6	12,2	14,4	15,8	16,2	14,4	13,5	9,9	7,7
	Percentil 95	10,8	10,8	11,7	13,5	13,5	16,2	17,1	18,5	16,7	14,9	13,7	12,2
	Máx diaria	11,3	11,7	13,5	14,4	14,4	18,9	17,1	20,7	19,8	15,3	15,3	12,6

ALSASUA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	11,0	15,1	17,4	19,0	14,5	27,5	27,6	31,1	26,8	21,2	14,6	12,5
	Media mín mes	4,0	5,8	9,2	9,2	15,7	17,3	21,6	22,0	18,6	13,1	8,6	6,5
	Media mensual	8,2	10,0	13,2	15,0	19,6	22,6	4,9	25,7	22,3	17,6	11,7	8,9
	sd	1,8	2,6	2,0	1,9	2,0	2,0	1,7	2,0	2,2	2,0	1,7	1,5
	Media máx diaria	15,0	17,0	22,0	25,0	29,0	32,0	35,0	35,0	31,0	24,0	18,0	15,0
	Percentil 95	16,5	21,0	25,0	27,0	32,0	36,0	37,5	39,0	35,0	27,0	20,5	17,5
	Máx diaria	17,0	22,0	29,0	29,0	33,0	36,0	38,0	39,0	35,5	29,0	22,5	17,5
	Media mín diaria	2,0	3,0	5,0	6,0	10,0	14,0	16,5	17,0	14,5	11,0	5,0	3,0
	Percentil 5	-2,0	-2,0	0,0	4,0	6,0	11,0	14,0	13,5	11,0	7,0	2,0	0,0
	Mín diaria	-5,0	-2,0	-1,0	0,0	5,5	11,0	12,0	13,0	11,0	5,0	0,5	1,0
Tmín	Media máx mes	5,0	7,1	6,7	7,4	11,3	14,6	15,7	15,9	13,6	11,3	8,6	8,0
	Media mín mes	-2,7	-1,2	0,8	1,7	6,1	9,4	11,4	11,1	9,0	6,2	2,1	-1,7
	Media mes	1,5	1,7	3,6	5,1	8,6	11,4	13,4	13,6	11,1	8,6	4,7	2,4
	sd	1,7	1,6	1,6	1,3	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,3	1,6	2,1
	Media mín diaria	-5,5	-4,0	-2,0	0,0	2,0	6,0	8,0	7,0	5,0	2,0	-2,0	-5,0
	Percentil 5	-10,5	0,9	-6,0	-3,0	0,0	2,0	5,0	3,5	2,0	-1,0	-7,0	-9,0
	Mín diaria	-16,5	-9,5	-7,0	-3,5	-0,5	1,5	5,0	3,5	1,0	-3,0	-7,0	-11,5
	Media máx diara	8,0	8,0	10,0	11,0	15,0	18,0	18,0	20,0	17,0	15,0	12,0	9,0
	Percentil 95	10,5	11,5	14,5	13,5	17,0	21,0	22,5	22,5	20,5	18,0	14,0	12,0
	Máx diaria	11,0	11,5	15,0	14,5	18,5	1,0	25,0	25,0	22,0	18,0	15,0	15,0

VIANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	11,5	16,6	20,1	20,4	25,0	30,0	32,2	33,1	29,1	22,2	15,0	12,7
	Media mín mes	5,8	6,4	11,1	12,5	17,7	21,6	26,4	25,8	21,6	15,7	10,0	6,9
	Media mensual	9,0	11,2	15,0	17,0	21,8	26,2	29,3	29,5	25,0	19,4	12,9	9,4
	sd	1,6	2,4	2,0	1,9	2,1	1,9	1,6	1,7	1,8	2,0	1,4	1,4
	Media máx diaria	15,0	18,0	23,0	25,0	30,0	35,0	36,0	36,0	32,0	26,0	20,0	15,0
	Percentil 95	17,0	21,0	27,0	30,0	35,0	37,0	39,0	39,0	36,0	29,0	23,0	19,0
	Máx diaria	18,0	21,0	27,0	30,0	36,0	39,0	39,0	40,0	39,0	31,0	24,0	20,0
	Media mín diaria	3,0	5,0	8,0	9,0	13,0	17,0	20,0	21,0	17,0	13,0	7,0	3,0
	Percentil 5	-1,0	1,0	3,0	6,0	9,0	13,0	18,0	17,0	14,0	8,0	3,0	0,0
	Mín diaria	-2,0	0,0	2,0	5,0	8,0	12,0	17,0	17,0	14,0	8,0	3,0	-4,0
Tmín	Media máx mes	5,1	6,6	6,9	9,7	12,0	17,9	18,8	19,0	15,4	12,8	8,7	7,5
	Media mín mes	-0,3	0,3	2,9	3,8	7,7	11,1	13,4	14,0	10,7	7,5	3,1	-0,8
	Media mes	2,1	2,9	4,9	6,6	10,2	13,4	15,4	16,0	13,2	9,7	5,6	2,9
	sd	1,3	1,2	1,1	1,4	1,2	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3	1,5	1,8
	Media mín diaria	-3,0	-1,0	0,0	2,0	5,0	8,0	11,0	11,0	9,0	4,0	0,0	-2,0
	Percentil 5	-7,0	-5,0	-3,0	0,0	3,0	6,0	9,0	8,0	6,0	1,0	-4,0	-7,0
	Mín diaria	-10,0	-6,0	-7,0	-1,0	2,0	5,0	9,0	6,0	5,0	0,0	-5,0	-8,0
	Media máx diara	7,0	8,0	10,0	12,0	16,0	19,0	20,0	22,0	17,0	15,0	11,0	8,0
	Percentil 95	9,0	10,0	13,0	15,0	18,0	22,0	22,0	24,0	20,0	17,0	13,0	11,0
	Máx diaria	12,0	10,0	13,0	16,0	20,0	23,0	23,0	26,0	21,0	18,0	14,0	15,0



# MIRANDA DE EBRO

		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	13,1	15,9	20,0	19,6	23,3	28,6	30,7	32,4	28,5	23,3	16,2	13,6
	Media mín mes	5,9	7,3	11,0	12,7	16,0	19,7	23,0	24,1	21,2	15,2	9,9	6,3
	Media mensual	9,,27	11,5	15,1	16,3	20,3	24,2	27,4	27,7	24,4	19,2	13,1	9,8
	sd	1,7	2,1	1,9	1,9	2,0	2,2	1,8	2,0	1,8	2,0	1,7	2
	Media máx diaria	15,5	18,5	23,5	25,0	29,0	33,5	36,0	35,0	32,0	25,5	19,5	15,5
	Percentil 95	18,0	21,0	27,0	28,5	33,0	37,0	38,5	38,5	36,0	29,0	24,0	19,5
	Máx diaria	18,5	22,0	29,0	28,5	34,0	37,5	40,0	42,0	38,0	31,0	25,5	20,0
	Media mín diaria	2,0	5,0	7,0	8,0	12,5	16,0	19,0	19,5	16,0	11,5	6,0	3,0
	Percentil 5	-3,0	0,0	2,0	6,0	10,0	12,5	15,0	16,0	11,5	8,0	3,0	-1,5
	Mín diaria	-3,0	-2,0	2,0	5,0	8,5	12,5	14,0	15,0	11,0	8,0	1,0	-1,5
Tmín	Media máx mes	5,3	5,4	8,0	7,9	10,0	14,8	16,4	16,4	13,3	10,8	8,5	6,8
	Media mín mes	-1,4	-1,3	0,4	2,5	5,2	8,3	9,7	10,0	8,3	6,4	0,8	-2,5
	Media mes	1,7	2,1	3,4	4,8	8,0	11,0	1,3	13,1	10,7	8,3	4,6	2,5
	sd	1,7	1,7	1,5	1,2	1,0	1,3	1,5	1,3	1,5	1,2	1,9	2
	Media mín diaria	-4,5	-3,5	-2,0	0,0	3,0	5,0	8,0	8,5	5,5	2,0	-1,5	-4,0
	Percentil 5	-10,0	-8,0	-8,0	-3,0	-0,6	2,0	6,0	4,5	1,0	-2,0	-7,0	-9,5
	Mín diaria	-15,0	-8,0	-9,5	-3,4	-1,0	0,0	0,5	3,0	0,2	-2,5	-8,0	-10,0
	Media máx diara	8,0	8,0	9,5	10,0	14,0	16,0	18,0	18,0	16,0	15,0	11,0	9,0
	Percentil 95	12,0	12,0	13,0	15,0	15,0	18,0	19,0	20,5	18,5	16,5	15,2	14,0
	Máx diaria	12,5	13,0	15,0	16,0	16,0	21,0	21,0	23,0	22,0	17,0	17,0	14,0

# LAGUARDIA

		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	13,3	17,8	20,8	21,1	25,1	29,4	31,3	32,1	28,7	22,6	16,4	14,4
	Media mín mes	8,4	8,9	13,0	14,2	18,7	22,1	26,2	25,7	22,1	17,0	12,0	9,3
	Media mensual	11,2	13,1	16,4	18,1	22,3	26,1	28,8	29,0	25,1	20,2	14,6	11,5
	sd	14,0	20,9	17,4	16,4	18,3	16,8	14,0	15,2	16,0	17,0	12,5	12,3
	Media máx diaria	16,4	19,0	23,3	25,1	29,4	33,8	34,6	34,6	31,1	25,9	20,7	16,4
	Percentil 95	18,1	21,6	26,8	29,4	33,8	35,5	37,2	37,2	34,6	28,5	23,3	19,8
	Máx diaria	19,0	21,6	26,8	29,4	34,6	37,2	37,2	38,1	37,2	30,3	24,2	20,7
	Media mín diaria	5,9	7,7	10,3	11,1	14,6	18,1	20,7	21,6	18,1	14,6	9,4	5,9
	Percentil 5	2,4	4,2	5,9	8,5	11,1	14,6	19,0	18,1	15,5	10,3	5,9	3,3
	Mín diaria	1,6	3,3	5,1	7,7	10,3	13,8	18,1	18,1	15,5	10,3	5,9	-0,2
Tmín	Media máx mes	6,3	7,7	8,1	10,8	13,0	18,7	19,6	19,8	16,3	13,8	9,8	8,6
	Media mín mes	1,0	1,6	4,2	5,0	8,8	12,2	14,3	15,0	11,7	8,6	4,3	0,5
	Media mes	3,4	4,2	6,1	7,7	11,3	14,3	16,3	16,8	14,2	10,8	6,8	4,1
	sd	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,5	1,3	1,1	1,4	1,2	1,5	1,7
	Media mín diaria	-1,6	0,4	1,3	3,3	6,2	9,1	12,0	12,0	10,1	5,2	1,3	-0,6
	Percentil 5	-5,5	-3,5	-1,6	1,3	4,3	7,2	10,1	9,1	7,2	2,3	-2,6	-5,5
	Mín diaria	-8,4	-4,5	-5,5	0,4	3,3	6,2	10,1	7,2	6,2	1,3	-3,5	-6,4
	Media máx diara	8,1	9,1	11,1	13,0	16,9	19,8	20,8	22,7	17,9	15,9	12,0	9,1
	Percentil 95	10,1	11,1	14,0	15,9	18,8	22,7	22,7	24,7	20,8	17,9	14,0	12,0
	Máx diaria	13,0	11,1	14,0	16,9	20,8	23,7	23,7	26,6	21,8	18,8	14,9	15,9



SALVATIERRA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	11,5	15,4	18,5	18,2	22,0	26,7	27,5	29,2	27,1	23,6	15,7	12,2
	Media mín mes	1,6	0,0	8,2	9,4	10,7	16,3	16,9	21,2	18,5	11,6	8,3	4,9
	Media mensual	8,1	9,8	12,6	14,3	18,1	21,9	24,5	25,0	22,6	17,4	11,7	83,5
	sd	1,9	2,6	2,2	1,8	2,1	1,9	2,1	1,8	2,2	2,3	1,9	1,8
	Media máx diaria	14,7	16,6	21,5	23,5	27,4	31,3	34,3	33,9	30,3	24,5	18,1	14,7
	Percentil 95	18,6	21,0	25,5	27,9	31,3	34,8	38,2	38,2	36,2	28,4	22,0	18,6
	Máx diaria	27,4	25,5	26,9	44,5	32,3	35,2	39,2	38,2	37,2	29,9	25,9	18,6
	Media mín diaria	1,5	2,9	4,4	5,9	9,8	13,2	16,2	16,6	13,7	9,8	4,9	2,0
	Percentil 5	-4,9	-2,0	0,5	2,9	5,9	8,8	11,7	13,2	10,3	5,9	1,0	-2,4
	Mín diaria	-1,6	-7,8	-1,7	2,0	3,9	4,9	3,9	10,8	9,8	2,4	0,0	-3,4
Tmín	Media máx mes	5,7	4,4	6,1	6,5	9,3	12,6	15,8	14,4	12,7	10,7	8,0	6,4
	Media mín mes	-4,5	-6,0	-1,6	1,5	4,1	6,9	7,7	6,6	6,7	1,5	0,2	-4,8
	Media mes	0,9	10,8	2,2	3,9	6,4	9,4	10,9	11,0	9,4	6,9	3,4	1,6
	sd	1,7	1,8	1,6	1,2	1,3	1,4	1,6	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9
	Media mín diaria	-6,2	-4,8	-4,3	-1,9	0,0	2,9	4,8	4,8	2,9	0,0	-3,4	-5,3
	Percentil 5	-9,6	-9,1	-8,6	-4,8	-2,9	0,0	1,9	1,0	-1,0	-3,4	-8,6	-9,4
	Mín diaria	-2,0	-1,6	-1,2	-5,8	-2,9	-4,8	0,0	0,5	-1,9	-5,3	-9,1	-1,4
	Media máx diara	7,7	7,7	8,6	10,1	12,5	15,4	16,8	16,8	15,4	13,4	10,1	7,7
	Percentil 95	10,6	11,0	13,0	14,4	15,4	19,2	21,1	20,2	18,3	16,3	14,4	12,0
	Máx diaria	11,5	13,9	14,4	16,8	16,3	23,1	23,1	20,7	19,2	17,8	15,4	14,4

TREVINO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tmáx	Media máx mes	12,4	16,2	19,2	18,9	22,7	27,3	28,0	29,7	27,6	24,2	16,6	13,2
	Media mín mes	2,8	1,2	9,2	10,3	11,6	17,1	17,7	21,9	19,3	12,5	9,3	6,0
	Media mensual	9,1	10,8	13,5	15,1	18,9	22,6	25,1	25,6	23,3	18,2	12,6	9,3
	sd	18,6	25,8	22,0	17,6	20,1	18,8	20,4	17,2	21,2	22,5	18,9	17,5
	Media máx diaria	15,5	17,4	22,2	24,1	28,0	31,8	34,7	34,3	30,8	25,1	18,9	15,5
	Percentil 95	19,4	21,7	26,1	28,4	31,8	35,1	38,5	38,5	36,6	28,9	22,7	19,4
	Máx diaria	28,0	26,1	27,5	44,7	32,7	35,6	39,4	38,5	37,5	30,4	26,5	19,4
	Media mín diaria	2,6	4,1	5,5	6,9	10,7	14,1	17,0	17,4	14,6	10,7	6,0	3,1
	Percentil 5	-3,6	-0,7	1,7	4,1	6,9	9,8	12,7	14,1	11,2	6,9	2,1	-1,2
	Mín diaria	-1,4	-6,5	-0,4	3,1	5,0	6,0	5,0	11,7	10,7	3,6	1,2	-2,2
Tmín	Media máx mes	6,1	4,9	6,5	6,9	9,4	12,4	15,3	14,0	12,5	10,7	8,3	6,8
	Media mín mes	-3,1	-4,5	-0,5	2,3	4,7	7,3	7,9	6,9	7,0	2,3	1,1	-3,4
	Media mes	1,7	1,9	3,0	4,5	6,8	9,5	10,9	11,0	9,5	7,2	4,0	2,4
	sd	1,6	1,7	1,4	1,1	1,1	1,3	1,5	1,4	1,4	1,5	1,7	1,7
	Media mín diaria	-4,7	-3,4	-3,0	-0,8	0,9	3,6	5,3	5,3	3,6	0,9	-2,1	-3,9
	Percentil 5	-7,8	-7,4	-6,9	-3,4	-1,7	0,9	2,7	1,8	0,1	-2,1	-6,9	-7,6
	Mín diaria	-17,4	-13,9	-9,5	-4,3	-1,7	-3,4	0,9	1,4	-0,8	-3,9	-7,4	-12,2
	Media máx diara	7,9	7,9	8,8	10,1	12,3	14,9	16,2	16,2	14,9	13,2	10,1	7,9
	Percentil 95	10,6	11,0	12,7	14,0	14,9	18,4	20,2	19,3	17,5	15,8	14,0	11,9
	Máx diaria	11,4	13,6	14,0	16,2	15,8	21,9	21,9	19,7	18,4	17,1	14,9	14,0

### 4.3 PARÁMETROS DE RADIACIÓN SOLAR

AMURRIO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx. mes	6,2	9,7	13,9	18,6	21,9	23,8	23,0	19,4	16,2	11,0	6,8	5,8
	Media mín. mes	4,2	5,6	9,7	11,4	12,9	15,5	14,9	12,8	11,2	6,6	4,2	3,4
	Media mes	5,0	7,3	11,3	14,7	17,6	19,1	18,6	16,6	13,3	8,4	5,5	4,3
	sd	0,6	1,0	1,3	1,8	2,2	2,1	2,1	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6

ARCAUTE		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx. mes	5,4	8,7	14,6	16,9	20,1	22,0	23,5	20,9	17,2	12,3	7,4	4,8
	Media mín. mes	2,6	4,9	8,6	11,1	9,2	15,5	15,2	14,0	10,9	6,6	3,8	2,8
	Media mes	4,3	6,7	10,5	13,7	17,2	19,2	19,6	17,8	13,8	8,6	5,2	3,7
	sd	0,6	0,9	1,3	1,3	1,9	1,5	1,6	1,5	1,4	1,1	0,7	0,5

CAMPEZO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx. mes	6,8	9,0	13,8	18,5	23,4	25,1	24,0	22,2	18,0	11,8	7,3	5,0
	Media mín. mes	2,4	5,6	8,7	11,1	13,4	15,8	16,2	15,9	12,3	6,4	3,9	0,2
	Media mes	4,5	7,1	10,9	14,6	18,0	20,5	20,7	18,3	13,7	8,8	5,3	3,8
	sd	0,7	0,8	1,1	1,7	2,5	2,0	1,7	1,3	1,2	1,2	0,9	0,9

ZAMBRANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	5,3	9,2	13,9	18,0	21,6	24,4	24,1	21,6	16,7	10,8	7,7	5,1
	Media mín mes	3,7	6,1	0,4	11,6	0,5	16,9	16,8	15,3	12,2	7,0	4,2	2,9
	Media mes	4,6	7,3	11,2	14,8	17,6	20,1	20,7	18,7	14,3	8,8	5,3	4,0
	sd	0,4	0,8	2,2	1,6	3,5	1,8	1,5	1,4	1,0	1,0	0,7	0,5

LAGUARDIA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	7,0	11,5	17,2	21,0	24,7	27,1	28,0	24,2	19,7	14,0	9,7	7,1
	Media mín mes	5,9	9,0	12,9	17,5	20,0	24,0	25,1	21,5	16,6	11,4	7,1	5,3
	Media mes	6,9	10,2	14,8	19,3	22,5	25,5	26,8	23,1	18,0	12,2	7,9	6,4
	sd	0,7	0,9	1,7	1,4	1,7	1,3	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,6

SALVATIERRA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	4,2	6,8	11,3	13,2	15,6	17,1	18,3	16,3	13,4	9,6	5,8	3,8
	Media mín mes	2,0	3,8	6,7	8,7	7,2	12,1	11,8	10,9	8,5	5,1	3,0	2,2
	Media mes	3,4	5,2	8,2	10,6	13,4	14,9	15,2	13,8	10,8	6,7	4,1	2,9
	sd	0,5	0,7	1,0	1,1	1,5	1,2	1,3	1,2	1,1	0,9	0,6	0,4

TREVÍÑO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	4,2	6,5	10,5	12,1	14,3	15,6	16,6	14,9	12,3	9,0	5,6	3,8
	Media mín mes	2,3	3,9	6,4	8,2	6,9	11,2	11,0	10,1	8,0	5,1	3,2	2,5
	Media mes	3,5	5,2	7,8	9,9	12,4	13,7	13,9	12,7	10,0	6,5	4,1	3,1
	sd	0,4	0,6	0,9	0,9	1,3	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8	0,5	0,3

ALSASUA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	6,5	9,7	15,2	18,5	23,6	24,3	23,8	20,2	16,1	11,9	6,9	6,0
	Media mín mes	4,3	4,7	9,5	12,1	16,5	14,3	16,4	15,0	11,0	5,8	4,4	3,4
	Media mes	5,1	7,7	12,2	15,0	18,3	20,3	20,9	18,4	13,9	9,1	5,7	4,3
	sd	0,6	1,2	1,6	1,8	1,8	2,2	1,9	1,5	1,6	1,5	0,6	0,7

VIANA		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	6,9	10,5	16,1	20,0	23,7	26,1	27,0	23,2	18,7	12,9	8,7	6,0
	Media mín mes	4,8	7,9	11,9	16,4	18,9	23,0	24,1	20,5	15,6	10,3	5,9	4,2
	Media mes	5,8	9,1	13,8	18,3	21,5	24,5	25,7	22,1	17,0	11,2	6,8	5,3
	sd	0,7	0,9	1,7	1,4	1,7	1,3	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,6

MIRANDA DE EBRO		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Radiación	Media máx mes	5,3	9,1	15,1	17,8	21,4	24,2	23,8	21,4	16,5	10,7	7,6	5,0
	Media mín mes	3,7	6,0	8,9	11,5	15,2	16,7	16,6	15,2	12,1	6,9	4,2	2,8
	Media mes	4,6	7,2	11,5	14,7	18,0	19,9	20,5	18,3	14,1	8,8	5,3	3,9
	sd	0,4	0,8	1,2	1,6	1,6	1,7	1,5	1,4	0,9	1,0	0,7	0,46

# ANEXO 5

---

## Test de bondad de ajuste: Arcaute

## Arcaute-tst

```

[VERSION]
LARS-WG5.5
[NAME]
Arcaute
[LAT, LON and ALT]
42.85 -2.63 512.00
[KS-test for seasonal wet/dry SERIES distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
DJF wet 12 0.035 1.0000
DJF dry 12 0.024 1.0000
MAM wet 12 0.047 1.0000
MAM dry 12 0.036 1.0000
JJA wet 12 0.034 1.0000
JJA dry 12 0.054 1.0000
SON wet 12 0.083 1.0000
SON dry 12 0.157 0.9163
[KS-test for daily RAIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
J 12 0.043 1.0000
F 12 0.050 1.0000
M 12 0.047 1.0000
A 12 0.051 1.0000
M 12 0.062 1.0000
J 12 0.073 1.0000
J 12 0.047 1.0000
A 12 0.074 1.0000
S 12 0.056 1.0000
O 12 0.050 1.0000
N 12 0.046 1.0000
D 12 0.035 1.0000
[RAIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]
69.60 54.42 60.23 74.10 71.24 53.41 31.83 36.14 47.65 72.22 86.49 91.44
45.888 35.082 40.281 35.546 41.708 37.279 27.578 33.986 34.715 47.078 46.506 64.349
74.39 59.78 57.53 73.57 76.09 54.13 34.90 38.71 42.94 63.26 90.86 97.41
45.905 31.876 32.039 32.068 33.886 33.309 27.413 35.058 31.727 38.805 45.371 60.417
-0.563 -0.866 0.404 0.085 -0.695 -0.111 -0.602 -0.401 0.767 1.128 -0.513 -0.517
0.575 0.388 0.687 0.932 0.488 0.912 0.548 0.689 0.445 0.261 0.609 0.606
1.001 1.211 1.581 1.229 1.515 1.253 1.012 1.064 1.197 1.472 1.051 1.134
0.997 0.466 0.083 0.433 0.116 0.392 0.958 0.821 0.493 0.143 0.847 0.630
[RAIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]
-1.234 -0.959 0.356
[RAIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]
17.00 14.00 15.00 16.90 18.70 17.50 11.00 15.00 15.40 20.00 20.50 21.00
31.00 30.00 45.00 39.00 33.30 54.00 53.00 46.50 34.00 36.50 45.50 48.00
31.50 40.00 68.00 55.00 72.50 87.00 87.00 72.00 39.70 46.30 48.50 234.00
18.20 15.20 16.80 17.00 20.10 22.60 11.50 12.40 13.00 20.20 22.40 23.00
44.20 29.50 47.60 41.30 45.10 55.80 60.10 60.80 33.60 37.20 35.40 45.70
109.50 31.00 63.10 53.00 77.10 63.60 73.90 71.50 39.30 43.10 47.10 233.70
[KS-test for daily MIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
J 12 0.106 0.9989
F 12 0.106 0.9989
M 12 0.106 0.9989
A 12 0.105 0.9991
M 12 0.053 1.0000
J 12 0.106 0.9989
J 12 0.053 1.0000
A 12 0.106 0.9989
S 12 0.106 0.9989
O 12 0.105 0.9991
N 12 0.053 1.0000
D 12 0.106 0.9989
[MIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t-statistics with p-values]
0.92 1.13 2.32 4.05 6.72 9.74 11.40 11.48 9.75 7.15 3.49 1.70
1.807 1.917 1.624 1.272 1.303 1.435 1.670 1.553 1.592 1.765 1.906 1.997
0.86 1.01 2.37 4.02 6.57 9.52 11.41 11.53 9.62 6.94 3.88 1.73
0.834 0.813 0.806 0.596 0.665 0.728 0.827 0.648 0.740 0.925 0.702 0.798
0.256 0.426 -0.233 0.189 0.758 1.087 -0.038 -0.233 0.584 0.803 -1.502 -0.120
0.799 0.671 0.816 0.850 0.450 0.279 0.970 0.816 0.560 0.424 0.136 0.904
[MIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]
0.032 0.702 0.496
[MIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]
8.10 8.00 9.00 10.50 13.00 16.00 17.50 17.50 16.00 14.00 10.50 8.00
11.00 11.50 13.50 15.00 16.00 20.00 22.00 21.00 19.00 17.00 15.00 12.50
12.00 14.50 15.00 17.50 17.00 24.00 24.00 21.50 20.00 18.50 16.00 15.00
7.80 8.00 8.60 10.30 12.20 15.50 17.40 17.10 16.00 14.20 11.40 8.70
10.60 11.80 11.40 12.80 15.60 19.90 21.50 20.60 18.70 17.20 13.70 11.60
11.80 12.50 12.80 16.00 15.90 21.20 21.90 21.00 19.30 18.40 14.90 13.40
[MIN daily minima: obs and gen median, 5 percentile and minimum]
-6.50 -5.00 -4.50 -2.00 0.00 3.00 5.00 3.00 0.00 -3.50 -5.50
-10.00 -9.50 -9.00 -5.00 -3.00 0.00 2.00 1.00 -1.00 -3.50 -9.00 -9.80
-21.00 -17.00 -12.00 -6.00 -3.00 -5.00 0.00 0.50 -2.00 -5.50 -9.50 -15.00
-6.60 -5.80 -4.90 -2.40 0.10 2.90 4.90 4.90 0.00 -3.50 -6.40
-13.70 -13.90 -8.30 -4.70 -2.40 0.20 2.00 2.70 -0.30 -4.10 -7.60 -9.20
-20.10 -17.50 -11.50 -5.40 -3.50 0.10 1.00 2.00 -1.30 -5.50 -10.20 -13.20
[KS-test for daily MAX distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
J 12 0.106 0.9989
F 12 0.106 0.9989
M 12 0.105 0.9991

```

Arcaute-tst

A	12	0.106	0.9989
M	12	0.106	0.9989
J	12	0.106	0.9989
J	12	0.106	0.9989
A	12	0.106	0.9989
S	12	0.053	1.0000
O	12	0.106	0.9989
N	12	0.105	0.9991
D	12	0.106	0.9989

[MAX monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t-statistics with p-values]

8.29	10.03	12.91	14.56	18.54	22.34	24.99	25.48	23.09	17.82	11.91	8.52
1.939	2.694	2.296	1.844	2.099	1.964	2.127	1.803	2.216	2.349	1.973	1.826
8.45	10.01	13.00	14.41	18.25	22.05	24.53	25.18	23.09	17.93	12.48	8.97
0.814	1.016	0.946	1.055	1.053	0.993	0.994	1.264	0.881	0.851	0.768	0.715
-0.608	0.074	-0.269	0.564	0.971	1.043	1.520	1.057	0.000	-0.362	-2.096	-1.766
0.544	0.941	0.789	0.574	0.333	0.299	0.131	0.293	1.000	0.718	0.038	0.080

[MAX paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]

0.013	0.151	0.882
-------	-------	-------

[MAX daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]

15.00	17.00	22.00	24.00	28.00	32.00	35.00	34.60	31.00	25.00	18.50	15.00
19.00	21.50	26.00	28.50	32.00	35.50	39.00	39.00	37.00	29.00	22.50	19.00
28.00	26.00	27.50	45.50	33.00	36.00	40.00	39.00	38.00	30.50	26.50	19.00
14.90	17.40	21.90	23.80	28.20	32.00	35.20	34.80	32.50	25.40	19.20	15.50
25.10	21.50	26.30	32.70	32.10	35.50	37.80	37.30	36.80	30.20	23.10	19.80
27.30	26.00	30.00	37.80	35.80	36.00	38.00	38.30	37.60	32.00	24.80	21.40

[MAX daily minima: obs and gen median, 5 percentile and minimum]

1.50	3.00	4.50	6.00	10.00	13.50	16.50	17.00	14.00	10.00	5.00	2.00
-5.00	-2.00	0.50	3.00	6.00	9.00	12.00	13.50	10.50	6.00	1.00	-2.50
-16.00	-8.00	-1.70	2.00	4.00	5.00	4.00	11.00	10.00	2.50	0.00	-3.50
1.10	2.50	4.70	6.20	9.50	13.70	15.60	17.30	14.10	9.40	5.40	2.40
-5.80	-0.60	1.40	2.70	6.50	10.20	9.50	12.90	11.00	6.10	2.30	-1.30
-9.80	-2.00	-1.90	2.40	5.70	9.50	6.70	10.90	8.40	5.20	1.60	-1.70

[KS-test for seasonal frost/heat SPELLS distributions: Effective N, KS statistic and p-value]

DJF	frost	12	0.330	0.1298
DJF	No heat spells			
MAM	frost	12	0.110	0.9981
MAM	heat	12	0.174	0.8416
JJA	frost	12	0.000	1.0000
JJA	heat	12	0.255	0.3878
SON	frost	12	0.259	0.3686
SON	heat	12	0.415	0.2265

[KS-test for daily RAD distributions: Effective N, KS statistic and p-value]

J	12	0.044	1.0000
F	12	0.044	1.0000
M	12	0.044	1.0000
A	12	0.044	1.0000
M	12	0.044	1.0000
J	12	0.044	1.0000
J	12	0.044	1.0000
A	12	0.087	1.0000
S	12	0.044	1.0000
O	12	0.044	1.0000
N	12	0.044	1.0000
D	12	0.044	1.0000

[RAD monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]

4.34	6.74	10.53	13.68	17.26	19.18	19.57	17.76	13.83	8.65	5.22	3.69
0.584	0.945	1.345	1.353	1.878	1.512	1.629	1.501	1.402	1.128	0.741	0.498
4.46	6.67	10.48	13.64	17.23	19.51	19.30	17.35	13.81	8.94	5.43	3.70
0.398	0.514	0.668	1.007	1.154	1.041	0.979	0.959	0.868	0.643	0.439	0.285
-1.379	0.485	0.260	0.187	0.109	-1.412	1.104	1.763	0.108	-1.798	-1.895	-0.149
0.170	0.628	0.795	0.852	0.913	0.161	0.272	0.081	0.914	0.075	0.061	0.882

[RAD paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]

-0.008	-0.133	0.896
--------	--------	-------

[END]